



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA CIVIL (PPGEC)**

Rodrigo Vargas Souza

ASPECTOS AMBIENTAIS E DE CUSTO DE PRODUÇÃO DO
SISTEMA PLATAFORMA EM MADEIRA
PARA HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL:
ESTUDO DE CASO EM FLORIANÓPOLIS

Florianópolis/SC
2013

Rodrigo Vargas Souza

ASPECTOS AMBIENTAIS E DE CUSTO DE PRODUÇÃO DO
SISTEMA PLATAFORMA EM MADEIRA
PARA HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL:
ESTUDO DE CASO EM FLORIANÓPOLIS

Dissertação apresentada ao Programa
de Pós-Graduação em Engenharia
Civil da Universidade Federal de Santa
Catarina (UFSC), para a obtenção do
grau de Mestre em Engenharia Civil.

Orientadora:
Prof^ª. Dr^ª. Poliana Dias de Moraes

Florianópolis/SC
2013

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

SOUZA, Rodrigo Vargas

S719a Aspectos ambientais e de custo de produção do Sistema
Plataforma em madeira para habitação de interesse social:
estudo de caso em Florianópolis / Rodrigo Vargas Souza;
orientadora, Poliana Dias de Moraes. - Florianópolis, SC,
2013.

191 p.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil.

Inclui referências

1. Avaliação Ambiental e Econômica. 2. Sistema Plataforma
de Madeira. 3. Habitação de Interesse Social. 4.
Sustentabilidade. I. Moraes, Poliana Dias de. II. Universidade
Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil. IV. Título.

Rodrigo Vargas Souza

**ASPECTOS AMBIENTAIS E DE CUSTO DE PRODUÇÃO DO
SISTEMA PLATAFORMA EM MADEIRA
PARA HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL:
ESTUDO DE CASO EM FLORIANÓPOLIS**

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 09 de Dezembro de 2013.

Prof. Dr. Roberto Caldas de Andrade Pinto
Coordenador do PPGEC / UFSC

Banca Examinadora:

Prof^ª. Dr^ª. Poliana Dias de Moraes
Orientadora - ECV / UFSC

Prof^ª. Dr^ª. Akemi Ino
Avaliadora Externa – IAU/ USP São Carlos

Prof^ª. Dr^ª. Ângela do Valle
Avaliadora Interna - ECV / UFSC

Prof^ª. Dr^ª. Janaíde Cavalcante Rocha
Avaliadora Interna - ECV / UFSC

*"Um passo à frente e você
não está mais no mesmo lugar"*

Chico Science

AGRADECIMENTOS

À minha companheira Alexandra pelo apoio incondicional neste caminho;

À minha família, por compreender minha ausência, necessária para minha formação acadêmica;

À Professora Poliana Dias de Moraes, orientadora desta pesquisa, pela confiança depositada em mim e constante dedicação;

Aos membros da banca, pelas ótimas contribuições ao trabalho;

À Secretaria do Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, pelo profissionalismo e colaboração;

Aos professores e amigos do GIEM, por tornarem-no um espaço agradável e propício ao desenvolvimento intelectual, especialmente ao Professor Carlos Alberto Szücs, e a Professora Ângela do Valle;

A todos os professores da UFSC que contribuíram para esta pesquisa;

A todas as empresas e profissionais que contribuíram com informações preciosas para esta pesquisa;

A todos aqueles de maneira direta ou indireta, contribuíram no desenvolvimento da pesquisa.

SOUZA, Rodrigo Vargas. **Aspectos ambientais e de custo de produção do Sistema Plataforma em madeira para habitação de interesse social: estudo de caso em Florianópolis**. 2013. 191f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

RESUMO

O uso de materiais de construção que sejam ambientalmente corretos e de sistemas construtivos que minimizem o desperdício no canteiro de obras são caminhos para reduzir os impactos do setor da construção civil no meio ambiente. Nesse contexto, a concepção do Sistema Plataforma de madeira no Brasil deve se iniciar não simplesmente pela cópia dos modelos norte-americanos ou europeus, mas por pesquisas que avaliem o comportamento dessas edificações às condições regionais e por trabalhos científicos que sistematizem informações necessárias para viabilizar um desenvolvimento sustentável do Sistema Plataforma de madeira no território nacional. Este trabalho efetua a avaliação da sustentabilidade ambiental e econômica dos subsistemas do projeto de habitação de interesse social no Sistema Plataforma de madeira para a região sul do Brasil. Para isto, foi definido, como estudo de caso, um projeto de uma habitação de interesse social de 46,50 m², que tem como propósito atender às famílias com renda de até 3 salários mínimos. Para a avaliação ambiental, foi utilizado um método com estrutura simplificada, baseado em critérios e pontuações, objetivando a identificação das cargas e dos potenciais impactos ambientais ocorridos nos subsistemas piso, paredes e cobertura da habitação definida para estudo. As informações foram obtidas por meio de levantamento de dados e, na falta destas, foram utilizados dados obtidos na literatura técnica. Na avaliação econômica, foi feita a identificação dos custos dos materiais de construção e da mão de obra por meio de contatos diretos com os fabricantes e as construtoras especializadas no Sistema Plataforma de madeira. Os resultados obtidos mostram, de maneira simplificada, as cargas ambientais ocorridas ao longo do ciclo de vida dos subsistemas piso, paredes e cobertura da HIS. Também é feito uma classificação de desempenho destes subsistemas, obtendo-se um indicador único e, uma comparação de desempenho ambiental do subsistema paredes utilizando outros sistemas construtivos.

Palavras-chave: Avaliação Ambiental e Econômica. Sistema Plataforma de Madeira. Habitação de Interesse Social. Sustentabilidade.

ABSTRACT

The use of building materials that are environmentally sound and building systems that minimize waste at the construction site are ways to reduce the impacts of the construction industry on the environment. In this context, the design of the Wooden Platform Framing in Brazil must begin not by simply copying the models Americans or Europeans, but for research that evaluates the behavior of these buildings to regional conditions and scientific systematizing information necessary to enable one sustainable development of the Wooden Platform Framing in the country. This paper performs the assessment of environmental and economic sustainability of the subsystems of the project building low-cost houses in southern Brazil. For this, we defined for the case study, a project building low-cost houses of 46.50 m², which aims to cater to families with incomes of up to three minimum wages. For environmental assessment, we used a method with simplified structure, based on criteria and scores, in order to identify the loads and the potential environmental impacts occurring in the floor, wall and roof subsystems of the dwelling set for study. The information was obtained through data collection and, in their absence, we used data obtained from the literature. In economic evaluation was made to identify the costs of building materials and labor through direct contacts with manufacturers and construction companies specialized in Wooden Platform Framing. The results show, in a simplified way, the environmental loads occurring throughout the life cycle of the floor, wall and roof subsystems a low-cost house. It is also made of a classification performance of these subsystems obtaining a single indicator and a comparison of performance of the subsystem environment using other construction system walls.

Keywords: Environmental Assessment and Economic. Wooden Platform Framing. Low-Cost House. Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: As construções de madeira mantêm o CO ₂ capturado pelas árvores armazenado em sua estrutura.	26
Figura 2: O ciclo de carbono dos produtos à base de madeira.	27
Figura 3: Índices de impactos ambientais de construções de aço, concreto e madeira.	28
Figura 4: Edificação em madeira no Sistema Plataforma.	30
Figura 5: Estrutura do sistema leve balão.	36
Figura 6: Estrutura do sistema leve plataforma.	37
Figura 7: Fluxograma das etapas de produção de madeira para construção de uma habitação.	38
Figura 8: Esquema de corte das toras de madeira em cortes radiais: diferentes esquemas de desdobro radial.	40
Figura 9: Esquema de corte das toras de madeira em pranchas paralelas (tangencial): (a) serra de desdobro vertical e (b) serra de desdobro horizontal.	41
Figura 10: Tipos de empenamentos da madeira.	42
Figura 11: Secadores utilizados para secagem de madeira.	43
Figura 12: Etapa de beneficiamento.	44
Figura 13: Câmera de autoclave.	46
Figura 14: Residência montada no método artesanal.	47
Figura 15: Painel sendo montado fora do canteiro de obras.	48
Figura 16: Casa modular na etapa de montagem.	49
Figura 17: Pesquisa sobre vida útil real de imóveis norte-americanos.	50
Figura 18: Subsistemas (elementos) estruturais do sistema plataforma.	51

Figura 19: Piso elevado com fundação em alvenaria estrutural.....	52
Figura 20: Elementos básicos da estrutura da parede.	53
Figura 21: Pregos cravados em topo e ângulo.	56
Figura 22: Conectores metálicos para união do montante e à guia inferior.....	56
Figura 23: Detalhes das interseções entre as paredes.....	57
Figura 24: Conectores metálicos para guias simples.	57
Figura 25: Aberturas de portas e janelas.....	58
Figura 26: Detalhe do apoio para as vergas.	58
Figura 27: Tipos especiais de chumbadores.	59
Figura 28: Sentido de aplicação das placas de madeira reconstituída.	61
Figura 29: Elementos estruturais básicos de cobertura.	62
Figura 30: Elementos básicos da cobertura treliçada.	63
Figura 31: Equivalências de carbono para madeira e CO ₂	64
Figura 32: Fluxograma geral do processo da madeira roliça, serrada e outros derivados.....	66
Figura 33: Linha de fabricação modular.	67
Figura 34: Ponte multifuncional.	71
Figura 35: Impactos ambientais da madeira x concreto e aço.....	72
Figura 36: Rendimento em madeira serrada a partir de toras com cascas de madeiras coníferas.....	75
Figura 37: Ciclo de vida de uma edificação.....	79
Figura 38: Representação esquemática da ACV.....	79
Figura 39: Perspectiva e planta baixa de 46,50 m ² do protótipo da HIS.	84
Figura 40: Subsistemas (elementos) estruturais do sistema plataforma.	85
Figura 41: Subsistema fundação da HIS.....	86

Figura 42: Componentes do piso.....	87
Figura 43: Posicionamento e distribuição das chapas OSB no piso da HIS.....	88
Figura 44: Perspectivas dos painéis e das vedações interna e externa.	89
Figura 45: Detalhe dos elementos da parede externa.	90
Figura 46: Composição da cobertura da HIS.	91
Figura 47: Detalhe da vedação e do revestimento dos oitões.....	91
Figura 48: Posicionamento da caixa d'água em torre externa à cobertura.....	92
Figura 49: Mapa do local escolhido para locação da HIS.	96
Figura 50: Categorias das informações e as origens dos dados.	99
Figura 51: Consumo de energia e emissão e geração de resíduos nas etapas delimitadas para estudo.	103
Figura 52: Exemplo hipotético do perfil de desempenho ambiental.	110
Figura 53: Residência de 42m ² montada no método artesanal	120
Figura 54: Residência de 346m ² montada no método semi-industrializado.	120
Figura 55: Quantidade de CO ₂ armazenada nos subsistemas da HIS.	126
Figura 56: Consumo de energia para transporte dos materiais.	128
Figura 57: Emissão de CO ₂ relacionadas ao transporte dos materiais.	128
Figura 58: Emissão de resíduos perigosos.	131
Figura 59: Consumo de energia no processo de manufatura dos materiais.	133
Figura 60: Consumo de energia para a construção dos subsistemas da HIS.....	134
Figura 61: Consumo de energia considerando os processos de manufatura e construção.....	135

Figura 62: Consumo de recursos reaproveitados nos materiais que compõem os subsistemas.	136
Figura 63: Consumo de recursos com potencial de reciclagem.	137
Figura 64: Perda de materiais na etapa da construção.	138
Figura 65: Perfil de desempenho ambiental dos três subsistemas.	140
Figura 66: Perfil de desempenho ambiental considerando as áreas de superfícies dos subsistemas.	141
Figura 67: Perfil de desempenho ambiental sem um indicador único de desempenho.	143
Figura 68: Perfil de desempenho ambiental dos subsistemas paredes considerando as áreas das edificações.	145
Figura 69: Perfil de desempenho ambiental considerando as áreas de superfícies dos subsistemas.	147

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Seções transversais padrões para montantes e banzos.....	54
Tabela 2: Pré-dimensiamento dos montantes e das paredes em madeira.....	54
Tabela 3: Fechamento em placas OSB.....	60
Tabela 4: Consumo de madeira em toras para uso industrial no Brasil.....	65
Tabela 5: Comparativo do consumo energético dos principais materiais de construção.....	69
Tabela 6: Energia embutida da madeira proveniente de diferentes processos.....	69
Tabela 7: Consumo energético de sete serrarias que desdobram toras de <i>Pinus</i>	70
Tabela 8: Gastos energéticos em transportes de carga no Brasil.....	71
Tabela 9: Fatores de emissão para veículos de carga europeus.....	76
Tabela 10: Informações obtidas e as localizações das construtoras entrevistadas.....	100
Tabela 11: População e localização das indústrias fabricantes e os dados disponibilizados.....	101
Tabela 12: Critérios ambientais selecionados com suas possíveis repercussões ambientais nas etapas delimitadas neste estudo.....	104
Tabela 13: Gastos energéticos em transportes de carga no Brasil.....	114
Tabela 14: Dados dos materiais de construções obtidos nas entrevistas para a caracterização das emissões de resíduos perigosos.....	116
Tabela 15: Energia embutida dos materiais utilizados na HIS.....	117

Tabela 16: Empresas madeiras e a energia embutida levantada nas diferentes etapas de produção.	118
Tabela 17: Consumo de energia para montagem das duas residências.	121
Tabela 18: Insumos que contribuem para quantidade de recursos reaproveitados.	122
Tabela 19: Insumos que contribuem para quantidade de recursos reaproveitados.	123
Tabela 20: Caracterização dos materiais dos subsistemas quanto à presença de resíduos perigosos.	129
Tabela 21: Preço total estimado da HIS.	148
Tabela 22: Preços da HIS x CUB.	149

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACA	- Arseniato de Cobre Cromatado
ACV	- Análise do Ciclo de Vida
AEIS	- Área Especial de Interesse Social
AIS	- Área de Interesse Social
AWC	- American Wood Council
CCA	- Arseniato de Cobre Cromatado
CCB	- Borato de Cobre Cromatado
CONAMA	- Conselho Nacional de Meio Ambiente
CCV	- Custo de Ciclo de Vida
CUB	- Custo Unitário Básico
CWC	- Canadian Wood Council
EBN	- Environmental Building News
ECO-92	- Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada no ano de 1992, na cidade do Rio de Janeiro.
EPS	- Poliestireno Expandido
FINEP	- Financiadora de Estudos e Projetos
FISPQ	- Ficha de Informações e Segurança de Produtos Químicos
FSC	- Conselho Brasileiro de Manejo Florestal
FTP	- Technology Platform for the Forest-based Sector
GIEM	- Grupo Interdisciplinar de Estudos da Madeira
HIS	- Habitação de Interesse Social
IEA	- (ANNEX 31) International Energy Agency (Energy Related Environmental Impact of Buildings)
IPCC	- Intergovernmental Panel on Climate Change
IPT	- Instituto de Pesquisa e Tecnologia
ISO	- International Organization for Standardization
MDF	- Medium-Density Fiberboard
OSB	- Oriented Strand Board
RCD	- Resíduos de Construção e de Demolição
SINDUSCON	- Sindicato da Indústria da Construção Civil
UFSC	- Universidade Federal de Santa Catarina
ZEIS	- Zona de Especial Interesse Social

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	25
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA.....	25
1.2 PROBLEMÁTICA.....	29
1.3 PERGUNTA DE PESQUISA	31
1.4 OBJETIVOS	31
1.4.1 Objetivo Geral.....	31
1.4.2 Objetivos Específicos.....	32
1.5 PRESSUPOSTO.....	32
1.6 DELIMITAÇÕES	32
1.7 ESTRUTURA DO DOCUMENTO	33
 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	35
2.1 SISTEMA ESTRUTURAL LEVE DE MADEIRA.....	35
2.2 ETAPAS DA PRODUÇÃO DE UMA EDIFICAÇÃO EM MADEIRA.....	37
2.2.1 Reflorestamento (manejo silvicultural)	39
2.2.2 Colheita e Transporte	39
2.2.3 Desdobro	40
2.2.4 Secagem	41
2.2.5 Beneficiamento.....	43
2.2.6 Tratamento da Madeira	44
2.2.7 Método de montagem do sistema leve de madeira.....	47
2.2.8 Uso da edificação	49
2.2.9 Desmontagem.....	49
2.3 CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA PLATAFORMA DE MADEIRA.....	50
2.3.1 Fundação e piso.....	51
2.3.2 Parede.....	53
2.3.3 Cobertura.....	62
2.4 CARGAS AMBIENTAIS OCORRENTES NAS ETAPAS DE CONSTRUÇÃO DE UMA HABITAÇÃO DE MADEIRA	63
2.4.1 Consumo de energia.....	68
2.4.2 Emissões e geração de resíduos.....	73
2.5 AVALIAÇÃO AMBIENTAL DE PRODUTOS DA EDIFICAÇÃO	78

2.5.1 Metodologia de análise do ciclo de vida	80
2.5.2 Métodos de ferramentas baseadas em critérios	81
2.6 APRESENTAÇÃO DO PROTÓTIPO PARA ESTUDO DE CASO	83
2.6.1 Fundação do protótipo em estudo	85
2.6.2 Piso do protótipo em estudo.....	86
2.6.3 Paredes do protótipo em estudo	88
2.6.4 Cobertura do protótipo em estudo.....	90
2.6.5 Subsistema hidrossanitário do protótipo em estudo.....	92
2.6.6 Subsistema elétrico do protótipo em estudo.....	92
3 MÉTODO DE PESQUISA.....	95
3.1 DEFINIÇÃO DA HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL PARA ESTUDO DE CASO	95
3.2 DEFINIÇÃO DO SÍTIO E DAS ORIGENS DOS MATERIAIS UTILIZADOS NA HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL.....	96
3.3 QUANTIFICAÇÃO E ORGANIZAÇÃO DOS DADOS	97
3.4 LEVANTAMENTO DE DADOS.....	98
3.4.1 População consultada para levantamento de dados.....	100
3.5 DEFINIÇÕES INICIAIS DO MÉTODO DE AVALIAÇÃO AMBIENTAL.....	102
3.6 DEFINIÇÃO DOS CRITÉRIOS AMBIENTAIS	104
3.6.1 Quantidade de CO ₂ armazenado da habitação.....	105
3.6.2 Consumo de energia e emissões de CO ₂ decorrentes do transporte	106
3.6.3 Emissão de resíduos perigosos.....	106
3.6.4 Consumo de energia no processo de manufatura	107
3.6.5 Consumo de energia na construção.....	107
3.6.6 Consumo de recursos reaproveitados.....	108
3.6.7 Consumo de recursos com potencial de reciclagem.....	108
3.6.8 Perdas decorrentes do processo de construção.....	109
3.7 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	109
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	113
4.1 RESULTADOS DA COLETA DE DADOS PARA CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL	113
4.1.1 Quantidade de CO ₂ armazenada na edificação.....	113
4.1.2 Consumo de energia e emissões de CO ₂ decorrentes do transporte	113
4.1.3 Emissão de resíduos perigosos.....	115
4.1.4 Consumo de energia na manufatura.....	117

4.1.5 Consumo de energia na etapa de construção.....	119
4.1.6 Quantidade de recursos reaproveitados	121
4.1.7 Quantidade de recursos com potencial de reciclagem.....	123
4.1.8 Perdas na etapa da construção	125
4.2 AVALIAÇÃO AMBIENTAL DOS SUBSISTEMAS DA HIS....	125
4.2.1 Quantidade de CO ₂ armazenada na edificação	126
4.2.2 Consumo de energia e emissões de CO ₂ decorrentes do transporte	127
4.2.3 Emissão de resíduos perigosos	129
4.2.4 Consumo de energia no processo de manufatura	132
4.2.5 Consumo de energia na construção	133
4.2.6 Consumo de recursos reaproveitados	135
4.2.7 Consumo de recursos com potencial de reciclagem.....	136
4.2.8 Perdas decorrentes do processo de construção.....	138
4.3 PERFIL DE DESEMPENHO AMBIENTAL DOS SUBSISTEMAS	139
4.4 COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO AMBIENTAL COM OUTROS SISTEMAS CONSTRUTIVOS.....	144
4.5 AVALIAÇÃO ECONÔMICA DA HIS	148
5 CONCLUSÕES	151
5.1 RECOMENDAÇÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	153
REFERÊNCIAS	155
APÊNDICES.....	167
Apêndice 1 - Formulário para obtenção de dados na etapa de construção.....	169
Apêndice 2 - Formulário para obtenção de dados dos materiais de construção.....	170
Apêndice 3 - Tabelas dos quantitativos dos subsistemas.	171
Tabela 1: Quantitativo do subsistema fundação.....	171
Tabela 2: Quantitativo do subsistema piso.	172
Tabela 3: Quantitativo do subsistema paredes.	174
Tabela 4: Quantitativo do subsistema cobertura.	182
Tabela 5: Quantitativo do subsistema elétrico	184
Tabela 6: Quantitativo do subsistema hidrossanitário.	186
Apêndice 4 - Tabelas com as caracterizações dos subsistemas da HIS.....	188
Tabela 1: Caracterização do subsistema piso.....	188
Tabela 2: Caracterização do subsistema paredes.	188

Tabela 3: Caracterização do subsistema cobertura.	189
Apêndice 5 -Tabelas com as caracterizações do subsistema parede com diferentes tecnologias.....	190
Tabela1: Caracterização do subsistema paredes de madeira para a comparação.....	190
Tabela 2: Caracterização do subsistema paredes de aço para a comparação.....	191
Tabela 3: Caracterização do subsistema paredes de alvenaria para a comparação.....	191

INTRODUÇÃO

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Os estudos relacionados aos impactos ambientais dos materiais de construção e dos sistemas construtivos estão cada vez mais presentes nos temas de pesquisa em Arquitetura e Engenharia de Construção. Adicionalmente, em função das suas consequências visíveis para a população e para as autoridades, esta questão também opera como uma forma de pressão econômica e social, tornando-se referência importante no direcionamento dos investimentos da indústria da construção civil.

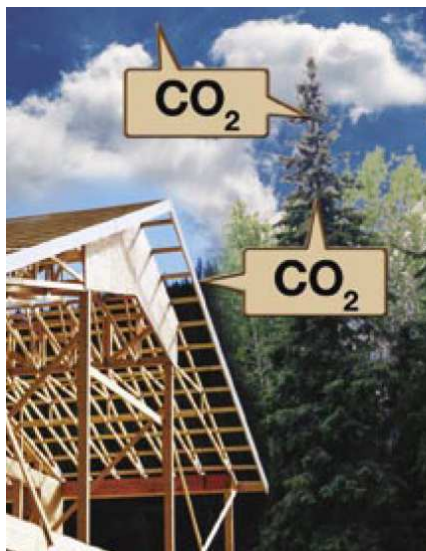
No Brasil e em outros países emergentes, os impactos ambientais da construção civil são potencializados por problemas sociais e econômicos. O déficit habitacional talvez seja um dos maiores problemas, pois, para construção destas moradias são feitas intervenções no meio-ambiente, não somente no local onde se constrói, mas onde se desenvolvem os processos envolvidos na produção, no uso e na disposição final das edificações e de seus componentes. Além disso, as características das habitações e dos materiais nelas empregados são determinantes para a saúde e o conforto dos usuários (KUHN, 2006).

Neste sentido, Silva e Shimbo (1999) afirmam que as poucas condições de habitabilidade e a degradação ambiental (consumo de recursos não renováveis, emissões de gases poluentes e resíduos perigosos) têm sido características das habitações produzidas até o presente momento no território nacional, e não são exclusividade daquelas de ocupação clandestinas. As limitações financeiras e a utilização de sistemas construtivos artesanais que se caracterizam por gerarem grande consumo de energia e desperdício de materiais têm sido os principais argumentos que justificam essas deficiências.

Uma das alternativas apontada por pesquisadores da construção civil para diminuir a degradação do meio ambiente, dando condições de conforto aos usuários, é a utilização da madeira de floresta plantada como material de construção. Muller (2005) afirma que aumentar o uso da madeira na construção dos edifícios promove uma iniciativa direta para a diminuição do efeito estufa, pois reduziria a quantidade de CO₂ emitida. As construções de madeira mantêm o gás carbônico atmosférico capturado pelas árvores, armazenado-o em sua estrutura,

conforme esquema ilustrativo da Figura 1.

Figura 1: As construções de madeira mantêm o CO_2 capturado pelas árvores armazenado em sua estrutura.



Fonte: Canadian Wood Council,(2003).

O ciclo do carbono é o processo que acontece através do ar, do solo, dos oceanos, das plantas e dos animais. Durante todo o ciclo, o carbono é trocado de uma forma para outra. No nível mais simples, as plantas absorvem dióxido de carbono do ar durante fotossíntese. O carbono é utilizado para sintetizar açúcares e amidos, que, por sua vez, constituem a matéria-prima para a formação das paredes celulares. As plantas libertam parte do oxigênio da molécula de CO_2 , devolvendo ao ar. Quando as árvores são transformadas em produtos como casas e móveis, o carbono continua capturado e é liberado somente quando a madeira apodrece ou é queimada, conforme esquema ilustrativo da Figura 2. Uma típica casa norte americana de 232 m² construída com estrutura de madeira, armazena 30.000 kg de carbono em sua estrutura, o que é equivalente a uma média de emissões de um automóvel de passageiros durante cinco anos, ou cerca de 12.200 litros de gasolina que ele consumirá (*NORTH AMERICAN FOREST PRODUCTS INDUSTRY BY THE BC*, 2009). A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos estima que o montante de carbono estocado nos

produtos florestais é equivalente às emissões provenientes de 18 milhões de automóveis dos EUA ou 13% de todos os carros nas estradas americanas hoje. (*NORTH AMERICAN FOREST PRODUCTS INDUSTRY BY THE BC*, 2009).

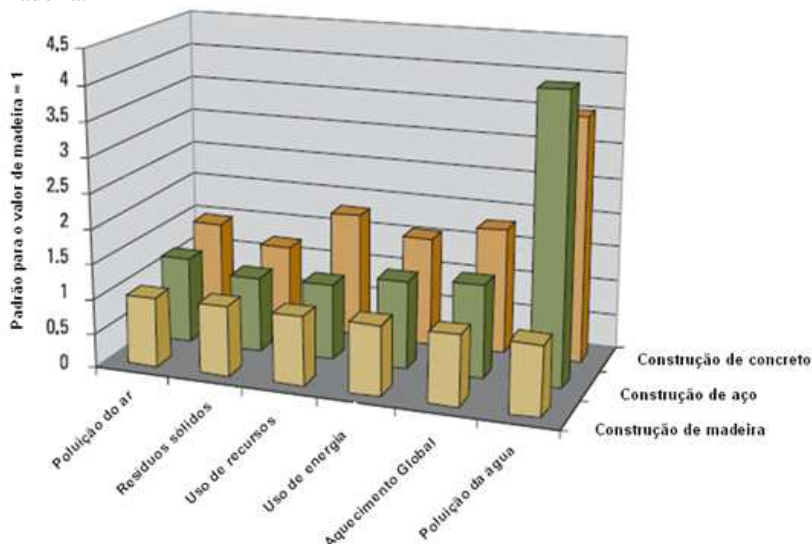
Figura 2: O ciclo de carbono dos produtos à base de madeira.



Fonte: FTP, (2007).

Alguns cientistas afirmam que o CO₂ emitido pelas atividades antropogênicas não causam o aquecimento global, porém é possível destacar outras características positivas da utilização da madeira como material de construção. Estudos realizados por Perez-Garcia *et al.* (2005) mostram que a energia consumida por uma casa com estrutura de aço é 17% maior do que para uma casa com estrutura de madeira com as mesmas características. A diferença é ainda maior se considerar o uso da bioenergia na fabricação de produtos de madeira. O *Canadian Wood Council* (2004) afirma que o potencial de aquecimento global, o índice de emissões no ar, o índice de emissões na água e o consumo de energia são mais elevados para as construções de aço e de concreto que para a construção de madeira, conforme mostra a Figura 3. Diferentes estudos indicam que a quantidade de energia necessária para produzir produtos de madeira é menor do que produtos feitos de outros materiais (CANADIAN WOOD COUNCIL, 2004).

Figura 3: Índices de impactos ambientais de construções de aço, concreto e madeira.



Fonte: Canadian Wood Council, (2004).

Países como França, Finlândia e Alemanha consideraram a aplicação da madeira na construção como um fator importante para o desenvolvimento sustentável. Políticas de incentivo ao uso da madeira

foram implantadas nesses países, trazendo benefícios ambientais em toda a cadeia produtiva de madeira, como também no setor da construção civil. Atualmente, um dos sistemas construtivo em madeira que é mais divulgado e citado pela literatura estrangeira é a construção com estrutura leve em madeira (*Light Wood Frame Construction*). Um sistema formado por peças de pequenas dimensões, de secção padronizada e pregadas entre si (*CANADIAN WOOD COUNCIL*, 1997). Deste sistema derivam os painéis de vedação com pelo menos uma câmara de ar e fechamentos externos e internos, conhecidos como painéis duplos.

Nos últimos anos, o sistema estrutural leve em madeira vem se disseminando como uma alternativa de sistemas industrializados, principalmente, para atender a demanda do déficit habitacional na região sul do Brasil. Nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná, encontram-se diversas variações desse sistema com diferentes composições de fechamentos das paredes, que procuram com o menor preço, a melhor qualidade para atender as demandas de moradia da região.

1.2 PROBLEMÁTICA

O setor da construção civil tem sido apontado como tendo papel significativo para o alcance de sociedades mais sustentáveis, pois a construção de edificações demanda muita energia e gera muitos resíduos. Assim, a adoção de sistemas construtivos que minimizem o desperdício no canteiro de obras e a utilização de materiais renováveis nas construções são alternativas para diminuir o impacto ao ambiente.

A construção de madeira foi considerada um dos pontos mais relevantes para diminuir os impactos ambientais do setor da construção civil na convenção internacional ECO-92, realizada no Rio de Janeiro (MEIRELLES *et al.*, 2008). O sistema estrutural leve, conhecido como Sistema Plataforma, apresenta um alto grau de desenvolvimento e de aceitação das construções habitacionais em madeira. Em países como Estados Unidos, Canadá, Alemanha, Suécia, Finlândia e Japão, as construções de madeiras são utilizadas em larga escala. No primeiro, cerca de 80% das residências são construídas com Sistema Plataforma em madeira, o qual associa as qualidades desse material a processos industrializados de construção (CAMPOS, 2006), conforme mostra a Figura 4.

Figura 4: Edificação em madeira no Sistema Plataforma.



Fonte: Silva, (2004).

Embora, no cenário internacional, o conhecimento tecnológico sobre construções em madeira seja sólido, no Brasil, a situação é bastante diferente (MOURA e BARNABÉ, 2005). No Brasil, o Sistema Plataforma é pouco conhecido. De modo geral, as construções em madeira existentes apresentam deficiência no beneficiamento da madeira e na correta elaboração de projetos e detalhes de execução (MOURA e BARNABÉ, 2005). As poucas construções no Sistema Plataforma em madeira encontradas no Brasil estão localizadas nos Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, região marcada pela colonização europeia. Estes estados também se caracterizam por abrigarem cadeias produtivas de base florestal que representam alternativas econômicas importantes para a geração de emprego e renda, inclusive, com a possibilidade da participação de um número excepcional de pequenos produtores rurais.

Com os avanços dos sistemas industrializados no mercado da construção civil e a grande disponibilidade de área para o plantio de madeira de reflorestamento associado ao desenvolvimento econômico regional, o Sistema Plataforma em madeira torna-se uma alternativa viável, devido à sua versatilidade arquitetônica e à sua grande leveza estrutural. Porém sua concepção deve se iniciar não simplesmente pela cópia dos modelos norte-americanos ou europeus, mas por pesquisas

que avaliem o comportamento dessas edificações às condições nacionais e por trabalhos científicos que sistematizem informações necessárias para viabilizar um desenvolvimento sustentável do Sistema Plataforma de madeira no país.

Entre as ações que têm sido adotadas para um desenvolvimento sustentável na construção civil, está a avaliação ambiental de edificações e de seus componentes. Isso porque a mesma permite que se compreendam as extensões e formas de impactos de suas atividades no meio ambiente. Segundo Kunh (2006), no Brasil, as pesquisas de desempenho ambiental estão iniciando, incluindo aquelas focadas em habitações de interesse social. Porém, há de se considerar que, para estas edificações, as melhorias possibilitadas pelas avaliações tendem a ter um efeito multiplicador, uma vez que as soluções são, usualmente, reproduzidas em diversas unidades, produzindo benefícios em grande escala.

Outro fator importante a se considerar na concepção de habitações mais sustentáveis é o custo, que não deverá ultrapassar a capacidade de pagamento da população a que ela é destinada.

Neste sentido, este trabalho se propõe a contribuir para o estudo da avaliação da sustentabilidade ambiental e econômica de habitações de interesse social construídas com o Sistema Plataforma de madeira na região sul do Brasil.

1.3 PERGUNTA DE PESQUISA

Os subsistemas das habitações de interesse social construídas com o Sistema Plataforma em madeira na região sul do Brasil atendem aos critérios de sustentabilidade ambiental e econômica?

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo Geral

Avaliar os subsistemas de uma habitação de interesse social na região sul do Brasil construída com o Sistema Plataforma em madeira considerando os parâmetros de sustentabilidade ambiental e econômica.

1.4.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos desta pesquisa são:

- identificar os materiais de construção utilizados nos subsistemas da habitação em estudo;
- identificar as cargas ambientais ocorrentes em parte do ciclo de vida (manufatura dos materiais de construções até desmontagem da edificação) dos subsistemas piso, paredes e cobertura da habitação em estudo;
- identificar como os métodos existentes avaliam ambientalmente as edificações;
- identificar os subsistemas, da edificação em estudo, que causam os maiores impactos para o meio ambiente;
- identificar os custos da habitação em estudo.

1.5 PRESSUPOSTO

Como os principais pressupostos para a realização do trabalho, tem-se que:

- uma edificação gera, ao longo do seu ciclo de vida, impactos ambientais, que podem ser caracterizados de forma quantitativa simplificada, por meio de critérios ambientais pré-estabelecidos;
- existem métodos estrangeiros para avaliação do ciclo de vida, mas estes podem não ser compatíveis com o contexto nacional, pois se baseiam em bancos de dados específicos para os países ou regiões para os quais foram desenvolvidos;
- atualmente, no Brasil, são necessários critérios simplificados em função da pouca disponibilidade de dados para caracterização e avaliação ambiental.

1.6 DELIMITAÇÕES

As delimitações deste trabalho são as seguintes:

- a avaliação dos subsistemas da habitação em estudo, objeto principal desta pesquisa, abrange, dentro do contexto da sustentabilidade, somente as dimensões ambientais e econômicas;

- dando continuidade aos estudos desenvolvidos pelo Grupo Interdisciplinar de Estudos da Madeira (GIEM), foi definido para estudo de caso o projeto desenvolvido na dissertação de Espíndola (2010). Esta se trata de uma habitação de interesse social de 46,50 m², que tem como propósito atender as famílias com renda de até 3 salários mínimos;
- a escolha do sítio para localização do protótipo foi definido no Distrito dos Ingleses do Rio Vermelho em Florianópolis-SC, tendo como critério a simulação de uma situação real para implantação de habitações de interesse social;
- foram avaliados ambientalmente os subsistemas: piso, paredes e cobertura, por serem comuns ao Sistema Plataforma, sendo excluído da avaliação ambiental, o subsistema fundação, pois o mesmo varia dependendo da topografia do terreno;
- foram excluídas dos subsistemas selecionados para a avaliação ambiental, as instalações hidráulicas e elétricas, devido às mesmas serem comuns a diferentes sistemas construtivos;
- o método de avaliação definido para pesquisa baseia-se em elementos comuns a métodos existentes, porém com uma estrutura simplificada de avaliação e caracterização ambiental;
- na avaliação econômica não foi considerado o Custo de Ciclo de Vida – CCV, sendo feito um levantamento simplificado dos custos da mão-de-obra e dos materiais de construção utilizados nos subsistemas da HIS.

1.7 ESTRUTURA DO DOCUMENTO

Esta dissertação está dividida em cinco capítulos. No primeiro capítulo, é apresentado o problema de pesquisa, a problemática, a pergunta de pesquisa, o objetivo geral, os objetivos específicos, os pressupostos e as delimitações da pesquisa, além desta apresentação da estrutura do documento.

O segundo capítulo é o da revisão da bibliográfica, o qual está estruturado em seis partes. Nas três primeiras partes, são apresentados os temas referentes ao sistema estrutural leve de madeira, as etapas para a produção de uma habitação de madeira e as particularidades do Sistema Plataforma de madeira, respectivamente. Na quarta parte, é feita uma abordagem das principais cargas ambientais ocorrentes nas etapas de produção de uma habitação construída com o sistema estrutural leve

de madeira.

Na quinta parte, são identificados e discutidos os elementos comuns a grande parte dos métodos existentes, que serviram como base para a definição do método a ser utilizado na avaliação ambiental do protótipo em estudo e, concluindo a revisão bibliográfica, é apresentado o projeto para estudo de caso, detalhado por subsistema.

No terceiro capítulo, é descrito o método de pesquisa, com as definições gerais, a população consultada e os procedimentos adotados para levantamento de dados e a caracterização dos subsistemas da habitação em estudo.

No capítulo quatro, são apresentados e discutidos os resultados do levantamento de dados e da avaliação ambiental e econômica. Por fim, no capítulo cinco, são apresentadas às conclusões da pesquisa e às sugestões para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo está organizado em seis seções. Nas três primeiras seções, são apresentados os temas referentes ao sistema estrutural leve de madeira, as etapas para a produção de uma habitação de madeira e as particularidades do Sistema Plataforma de madeira, respectivamente. Na quarta seção, é feita uma abordagem das principais cargas ambientais ocorrentes nas etapas de produção de uma habitação construída com o sistema estrutural leve de madeira.

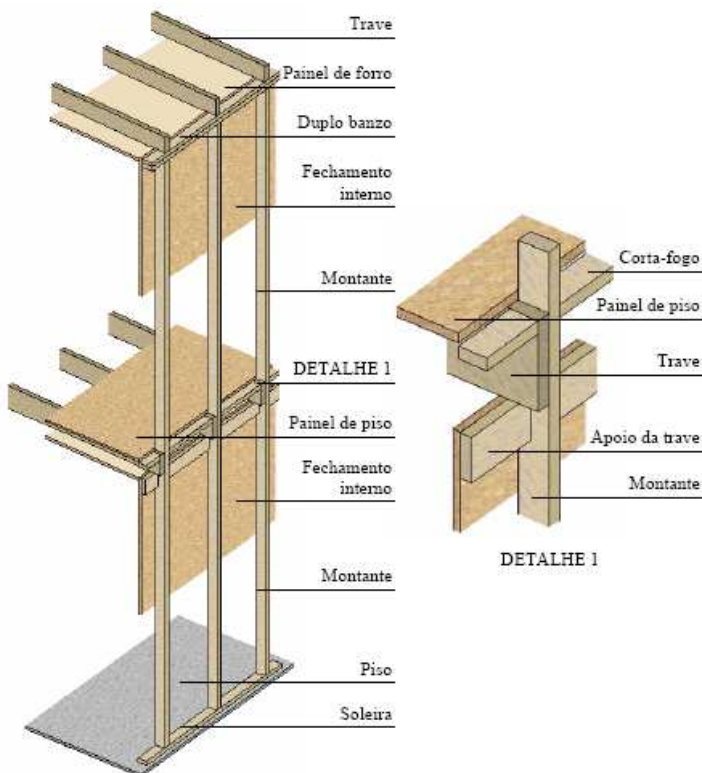
Na quinta seção, são identificados e discutidos os elementos comuns a grande parte dos métodos existentes, que serviram como base para a definição do método a ser utilizado na avaliação ambiental do protótipo em estudo.

Finalmente, na sexta seção, o protótipo para estudo de caso é apresentado, sendo os subsistemas detalhados para a avaliação ambiental e econômica.

2.1 SISTEMA ESTRUTURAL LEVE DE MADEIRA

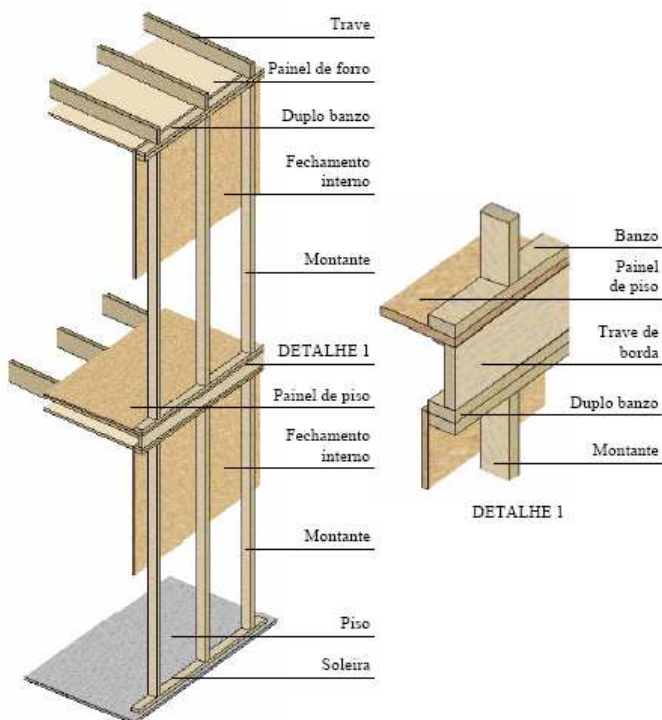
O sistema de construção em estruturas leves em madeira (*light wood frame*) é bastante difundido em países como Estados Unidos e Canadá para a construção de unidades residenciais com pouca altura. As principais tipologias construídas com este sistema são residências de dois pavimentos com ambientes de porão e de sótão, e pequenos condomínios verticais multi-familiares de quatro a cinco pavimentos (AWC, 2002).

De acordo com Sánchez (1995), as construções leves em madeira tiveram origem no século XIX, na América do Norte, como consequência de dois fatores: a disponibilidade de produtos industriais inéditos e padronizados (madeira serrada e pregos), e a necessidade de um sistema rápido de construção para a colonização do oeste dos Estados Unidos. Segundo Benoît e Paradis (2007), as primeiras construções do sistema leve de madeira foram construídas na versão conhecida como sistema balão (*Balloon frame*). Este sistema construtivo é marcado pela fabricação industrial de peças esbeltas, pouco espaçadas entre si, cujo comprimento acompanha desde a fundação até a cobertura (Figura 5). Essa ossatura é fechada por painéis estruturais de madeira.

Figura 5: Estrutura do sistema leve balão.

Fonte: Silva, (2004).

Com o tempo, surgiram várias modificações no sistema balão, buscando o seu aprimoramento até chegar ao Sistema Plataforma (*Platform frame*), que é o sistema construtivo geralmente empregado nos dias de hoje. O sistema plataforma mantém o conceito estrutural do sistema balão, ou seja, pequenos perfis de madeira associados a painéis de fechamento, mas diferencia-se pela interrupção dos montantes ao nível de cada piso, conforme mostra a Figura 6. Esta descontinuidade permite a pré-fabricação das peças e a facilidade de execução e de montagem dos quadros, uma vez que se manipulam peças com menor comprimento, menor peso e menor riqueza de detalhes construtivos (SILVA, 2004). Segundo Thallon (2000), o Sistema Plataforma sobrepujou seu antecessor devido à maior facilidade e rapidez de execução, e também por apresentar melhor desempenho frente ao fogo.

Figura 6: Estrutura do sistema leve plataforma.

Fonte: Silva, (2004).

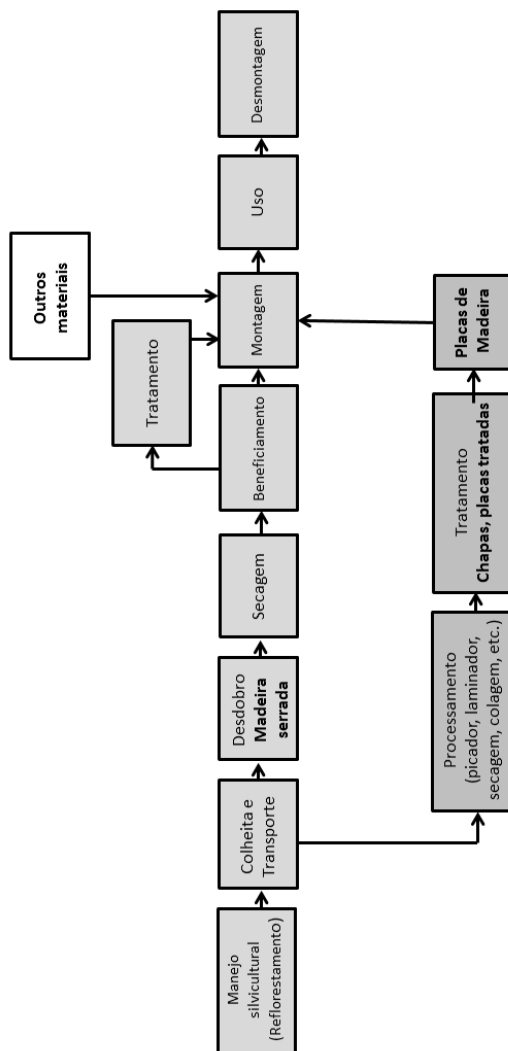
De acordo com Dias (2005) e César (2002), o **Sistema Plataforma** é largamente utilizado para construções de edificações em países como os Estados Unidos, Canadá, França, Alemanha, Austrália, Inglaterra, Japão, entre outros, apresentando um alto grau de industrialização e consequente redução de prazos e de custos e atendendo às **exigências** de um público bastante **exigente** dos países desenvolvidos, propiciando edificações com qualidade, bom desempenho em uso e conforto.

2.2 ETAPAS DA PRODUÇÃO DE UMA EDIFICAÇÃO EM MADEIRA

As etapas de produção de uma edificação de madeira, a partir da floresta, constituem-se em: manejo silvicultural, colheita e transporte,

desdobro, secagem, beneficiamento e tratamento da madeira utilizada na estrutura. Após estas etapas, é feita a montagem com a incorporação de outros materiais, uso e desmontagem, conforme mostra esquematicamente a Figura 7.

Figura 7: Fluxograma das etapas de produção de madeira para construção de uma habitação.



2.2.1 Reflorestamento (manejo silvicultural)

Na etapa de reflorestamento, que compreende o plantio de árvores para fins industriais, são utilizados tratamentos silviculturais para melhorar, modificar, controlar e minimizar os fatores que afetam a qualidade da madeira. No Brasil, os tratamentos silviculturais mais empregados na cultura de *Pinus* são o espaçamento entre árvores, a fertilização, o controle de pragas e plantas invasoras, o regime de desbaste (quanto, quando e quais árvores retirar para se obter as melhores toras), o regime de poda ou de desrama (retirar galhos da copa da árvore para obtenção de madeira livre de nós) e a integração com o processo de desbastes (FAGUNDES, 2003).

2.2.2 Colheita e Transporte

A colheita consiste na derrubada da árvore, na retirada de galhos e no corte das toras em comprimentos definidos. Após esta etapa, é feito o transporte destas até a serraria para o desdobro. Os resíduos, sem valor comercial, são deixados na própria floresta, onde se decompõem (YUBA, 2001).

É na etapa da colheita que os cuidados tomados nos procedimentos de manejo, durante o crescimento das árvores, são visíveis. Os impactos ambientais provocados nesta etapa devem ser reduzidos ao mínimo. Para que isto aconteça, é importante a execução de práticas corretas de manejo, fazendo trilhas adequadas, evitando as erosões e protegendo os recursos hídricos e as florestas nativas remanescentes (YUBA, 2001).

Segundo Yuba (2001), as desramas e os desbastes também influenciam na produtividade dessa etapa. A ausência dessas práticas, durante o crescimento das árvores, reflete na necessidade de seleção de toras e na perda de material devido a defeitos como tortuosidade, diâmetro reduzido, deterioração, presença de nós e, também, dificulta a locomoção das toras na área plantada e no transporte.

Os resultados de uma floresta mal manejada repercutem sobre o aspecto econômico. Os custos relacionados ao transporte da madeira podem chegar a 28% dos custos do produto final. Esse dado mostra a importância da relação existente entre o transporte e a qualidade da madeira produzida e indica a necessidade de aumento do controle de qualidade da matéria-prima para a redução de perdas ao longo de todo o processo de produção. Dessa forma, melhorando o rendimento de

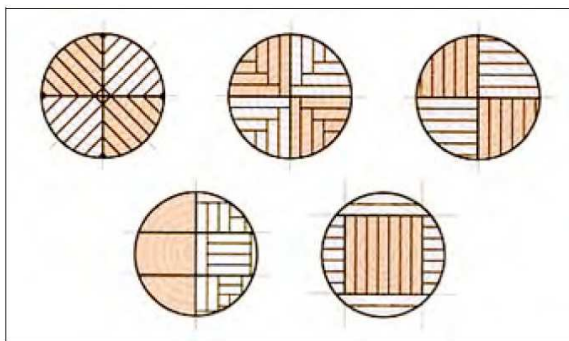
madeira serrada por tora, os gastos com transporte podem ser reduzidos (YUBA, 2001).

2.2.3 Desdobro

A etapa de desdobro compreende a redução das toras inteiras, por meio do corte longitudinal, em partes menores que podem ser denominadas pranchas, tábuas ou peças de secção retangular ou quadrada (vigas, montantes, caibros, sarrafos ou ripas). Este processo de redução é feito com equipamentos de serra fita, serra circular, refiladora e reserra (FAGUNDES, 2003).

O desdobro de madeira é feito nas direções de cortes radiais e paralelos (tangencial). Silva (2001) afirma que os cortes radiais objetivam a obtenção de tábuas com faces paralelas aos raios (Figura 8). Uma peça de madeira é considerada completamente radial quando os anéis de crescimento possuem um ângulo superior a 80° em relação à face da tábua.

Figura 8: Esquema de corte das toras de madeira em cortes radiais: diferentes esquemas de desdobro radial.

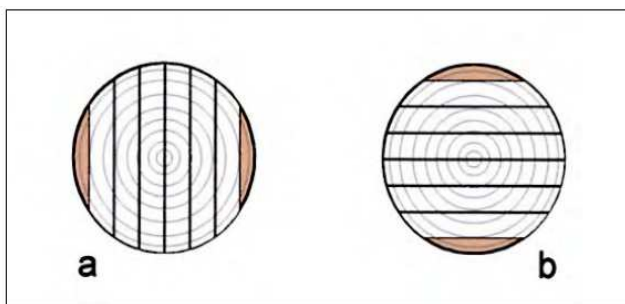


Fonte: Fagundes, (2003).

O método conhecido como quadro cheio ou cortes paralelos é o mais utilizado no Brasil, principalmente nas pequenas serrarias (Figura 9). Esta técnica caracteriza-se por uma boa precisão de corte, porém não considera as orientações dos anéis de crescimento, proporcionando uma mistura de tábuas radiais e tangenciais. As toras são serradas numa

mesma direção, em um conjunto de serras paralelas ou utilizando a repetição de passagem. Este método não oferece resistência às deformações naturais da madeira serrada durante a operação, possibilitando a manifestação imediata dos efeitos das tensões de crescimento, que são as maiores causadoras do rachamento das toras e das pranchas, resultando em perdas de rendimento e da qualidade da madeira (SILVA, 2001).

Figura 9: Esquema de corte das toras de madeira em pranchas paralelas (tangencial): (a) serra de desdobro vertical e (b) serra de desdobro horizontal.



Fonte: Fagundes, (2003).

Galvão (1976) afirma que as direções de corte radial ou tangencial apresentam resultados diferenciados nos produtos, pois o corte radial apresenta menor possibilidade de apresentar defeitos na etapa de secagem. O autor também comenta que os métodos para obtenção de madeira radial são considerados mais caros, com menores produções e rendimentos de madeira serrada que o método de corte paralelo. Porém estas desvantagens são compensadas pela redução de defeitos das peças e pelo melhor comportamento em uso.

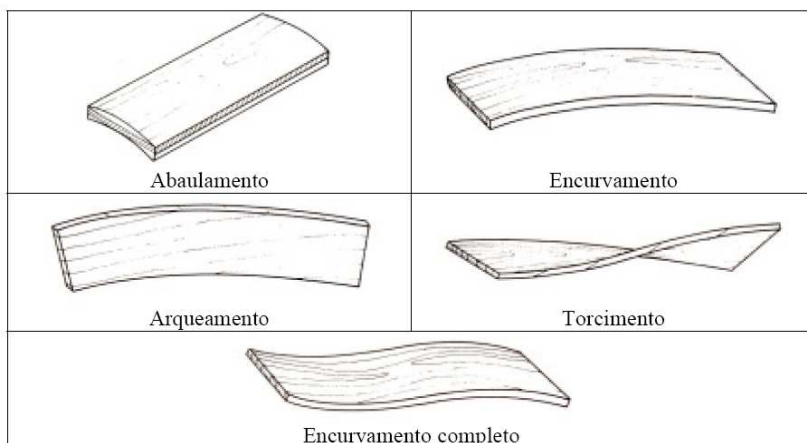
2.2.4 Secagem

O processo de secagem trata-se da retirada de umidade da madeira, o que influencia diretamente na qualidade final da mesma. A correta secagem da madeira é necessária por diversas razões, tais como, redução da movimentação dimensional, redução da probabilidade de ataques de fungos, aumento de eficácia de impregnação da madeira

contra a demanda biológica e aumento de resistência e de elasticidade.

Entre os defeitos que a má secagem pode causar estão os vários tipos de empenamento (abaulamento, arqueamento, encurvamento e torcimento), ilustrados na Figura 10, o colapso, o endurecimento superficial, as rachaduras, as manchas e os defeitos de grã. Todos estes defeitos podem ser prevenidos e, em determinados estágios são tratados, com sucesso. Os defeitos de secagem estão diretamente ligados ao mecanismo adotado para equilibrar a umidade (FAGUNDES, 2003).

Figura 10: Tipos de empenamentos da madeira.



Fonte: Ponce e Watai, (1985 apud YUBA, 2001).

Basicamente, existem dois tipos de secagem: a secagem natural ou ao ar livre e a secagem artificial ou forçada, feita em secadores. Na região sul, onde se realizou o levantamento de dados desta pesquisa, a grande maioria das empresas utiliza o processo de secagem artificial, que segundo os mesmos são indispensáveis para a boa qualidade da madeira. Segundo Jankowsky *et al.* (2002), quando o processo é realizado em secadores e conduzido de maneira adequada, obtém-se considerável redução de tempo de secagem e maior controle sobre os defeitos. Na Figura 11 são apresentados os montantes de *Pinus* sendo colocados em um secador artificial.

Figura 11: Secadores utilizados para secagem de madeira.



Fonte: do autor em Águas Mornas/SC, (2012).

2.2.5 Beneficiamento

O beneficiamento da madeira trata-se, basicamente, da transformação da madeira serrada bruta em madeira cortada na seção final pronta para uso. Esta transformação é feita por meio de aplainamento, de lixamento ou de fresamento (FAGUNDES, 2003). Os equipamentos mais utilizados nessa etapa são: a tupia plana de quatro faces, a lixadeira, a destopadeira, a plana desempenadeira e a respigadeira (YUBA, 2001).

No beneficiamento, são produzidos os perfis de esquadrias, as guarnições de porta, os chanfros, os rebaixos, os montantes, os caibros, as ripas e as tábuas, comumente encontradas no mercado. Também nessa etapa, assim como no desdobro, a qualidade dos produtos obtidos e a quantidade de resíduos produzida dependem da qualidade da matéria-prima e dos procedimentos adotados nas etapas anteriores da produção (YUBA, 2001).

Na Figura 12 é apresentada uma etapa de beneficiamento sendo realizada em uma empresa no estado de Santa Catarina.

Figura 12: Etapa de beneficiamento.



Fonte: do autor em Águas Mornas/SC, (2012).

2.2.6 Tratamento da Madeira

A madeira, como material de origem orgânica pode sofrer biodeterioração. Agentes biológicos, tais como bactérias e fungos, insetos (coleópteros e térmitas) e brocas marinhas (moluscos e crustáceos) podem atacá-la, dependendo da condição ambiental na qual a mesma está inserida. (FAGUNDES, 2003).

A fim de proteger a madeira do ataque desses agentes agressores, são preconizados inúmeros processos de tratamentos preservativos, imunizadores e destruidores. Cavalcante (1983) considera a preservação uma importante ferramenta para se garantir a durabilidade da peça em madeira, sendo definida como o conjunto de produtos, de métodos, de técnicas e de pesquisas destinadas a alterar, medir ou estudar a durabilidade da madeira, podendo ser dividida em preservação natural, indireta, biológica e química.

- **Preservação natural:** é a utilização da madeira de forma a evitar a ação dos agentes deteriorantes, protegendo-a do contato com o solo e das fontes de umidade.
- **Preservação indireta:** é o tratamento do meio em que a madeira está sendo utilizada com a finalidade de protegê-la.
- **Preservação biológica:** envolve o emprego de organismos vivos na prevenção ao ataque dos organismos xilófagos.
- **Preservação química** - é a introdução de produtos químicos

dentro da estrutura da madeira, visando torná-la tóxica aos organismos que a utilizam como fonte de alimento.

Na preservação natural, as questões projetuais são fundamentais. Medidas para proteger as peças de madeira do contato com o solo e das fontes de umidade e uso de barreiras físicas contribuem para aumentar durabilidade da peça em madeira. Tais medidas, se não eliminam a necessidade do tratamento químico, podem contribuir para a redução da quantidade de produtos químicos utilizados no tratamento da madeira (BENEVENTE, 1995).

A preservação química é o método mais antigo e, hoje, o mais utilizado. Mas esse tipo de preservação é questionável, devido ao seu potencial de ação nociva aos homens e pelos riscos de contaminação ambiental provocada pela disposição irregular dos resíduos da madeira tratada.

Segundo Fagundes (2003), os preservantes devem possuir as seguintes características: boa toxidez, estabilidade química, não ter ação corrosiva, não alterar as propriedades físicas e mecânicas da madeira e ser inofensivo ao homem e aos animais. Os preservativos classificam-se em dois tipos: oleosos e hidrossolúveis. Nos **oleosos**, o veículo usado para impregnação é um óleo com ação preservativa (subprodutos da hulha e algumas frações de petróleo, como por exemplo, o *creosoto*). Os **hidrossolúveis** são sais preservativos, e o veículo usado para impregnação é a água (tais como o CCA e o CCB) (CALIL JÚNIOR *et al.*, 2002).

O tratamento profundo feito pelo processo de autoclave é dividido em dois ramos: processos de células vazias e de células cheias. Este processo de autoclave é feito em usinas de preservação (Figura 13) através de equipamento que produz de maneira alternada, vácuo e pressão, permitindo que o preservativo químico penetre profundamente e de maneira homogênea nas fibras de madeira (FAGUNDES, 2003).

No Brasil, os principais preservantes químicos utilizados para o tratamento da madeira são o creosoto e o Arseniato de Cobre Cromatado (CCA).

Segundo Fagundes (2003), a utilização do creosoto tem diminuído muito, em função do aspecto característico escuro e oleoso causado na madeira. Já a madeira tratada com CCA, vem sendo cada vez mais utilizada para fins estruturais, porém este produto vem gerando muita controvérsia em vários países do mundo, que ainda o utilizam, pois estudos mostram que a exposição aos componentes do CCA – Cobre, Cromo e Arsênico podem causar sérios problemas a saúde dos

seres humanos e ao meio ambiente (FAGUNDES, 2003).

Figura 13: Câmera de autoclave.



Fonte: do autor em Águas Mornas/SC, (2012).

Alguns fabricantes de produtos químicos já oferecem alternativas para CCA, como por exemplo, o Borato de Cobre Cromatado (CCB) e o composto chamado Cobre Alcalino/Arseniato de Cobre Amoniacal (ACA). Porém as normas técnicas que regulamentam a utilização do CCA no Brasil, ainda o consideram como um produto seguro e que fornece grande durabilidade (FAGUNDES, 2003). No entanto, o mercado para este produto vem sendo limitado, como ocorre na maioria dos países da Comunidade Européia, onde tem caído em desuso há algum tempo.

Fagundes (2003) afirma que as proteções ecológicas que não prejudicam o homem, têm sido pesquisadas e já podem ser comercialmente encontradas. Destas destacam-se os sais de Boro, as ceras e as resinas naturais, os óleos vegetais, os vinagres, os óleos, e os alcatrões da madeira, além dos extratos naturais de espécies de madeira resistentes.

Segundo Fagundes (2003), os tipos de preservativo e de processo para o tratamento da madeira devem ser escolhidos em função da situação de uso a que ela estará exposta. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), nos textos que se referem à normatização do tratamento preservativo de madeiras contra fungos e insetos para construção civil, recomenda que alguns gêneros de madeira utilizados para fins estruturais tenham tratamento preservativo dentro de

determinados parâmetros e requisitos recomendáveis (FAGUNDES, 2003).

No subitem 2.4.2 deste capítulo, é discutido o tema referente aos resíduos da madeira tratada e às suas toxidades.

2.2.7 Método de montagem do sistema leve de madeira

Para o sistema estrutural leve de madeira há diferentes métodos de montagem, que se diferenciam por serem mais ou menos industrializados. Assim sendo, os métodos de montagem influenciam, principalmente, o espaço e o local para montagem e o tempo de execução da obra. Os principais métodos de montagem do sistema leve de madeira são: **método não industrializado ou artesanal, método semi-industrializado ou dos painéis e método modular ou industrializado.**

Figura 14: Residência montada no método artesanal.



Fonte: do autor em Gravataí/RS, (2005).

No método não industrializado ou artesanal de construção, os painéis, as lajes, as colunas, os contraventamentos e as tesouras são montados no canteiro de obras. Ele se caracteriza pela baixa escala de

produção e pela baixa produtividade e, geralmente, utilizam materiais disponíveis no local, sem transformação ou beneficiamento. Essa técnica pode ser usada em locais onde a pré-fabricação não é viável.

No método semi-industrializado ou dos painéis de construção, os painéis estruturais ou não estruturais, as lajes e as tesouras podem ser pré-fabricados fora do canteiro e montados no local (Figura 15). Alguns materiais de fechamento dos painéis podem ser aplicados na fábrica para diminuir o tempo da construção. Os painéis e os subsistemas são conectados no local usando técnicas convencionais (parafusos auto-brocantes e auto-atarrachantes).

Figura 15: Painel sendo montado fora do canteiro de obras.



Fonte: do autor em Esteio/RS, (2009).

No método modular ou industrializado, as construções modulares são unidades completamente industrializadas. Elas podem ser fornecidas à obra com todos os acabamentos internos como revestimentos, as louças sanitárias, as instalações elétrica e hidráulica, entre outros, conforme Figura 16. A mão-de-obra deve ser especializada para a montagem no canteiro e os prazos de construção são reduzidos (SZÜCS *et al.*, 2007).

Figura 16: Casa modular na etapa de montagem.



Fonte: do autor em Curitiba/PR, (2012).

2.2.8 Uso da edificação

Na etapa de uso, a edificação é submetida à ação das intempéries, dos ocupantes, passando por manutenções leves (limpeza) e pesadas (reformas). As principais questões abordadas pelo desenvolvimento sustentável sobre o uso das edificações são relativas à qualidade do ambiente interno e ao consumo de energia dos equipamentos da edificação. As medidas de conservação de energia, de conforto térmico, acústico e lumínico, além da qualidade do ar e dos produtos utilizados são temas comuns. Sobre a madeira, a escolha de espécies adequadas, os procedimentos de corte e de secagem adotados e os cuidados de projeto, de tratamento e de montagem podem interferir sobre tais questões (INO, 1997).

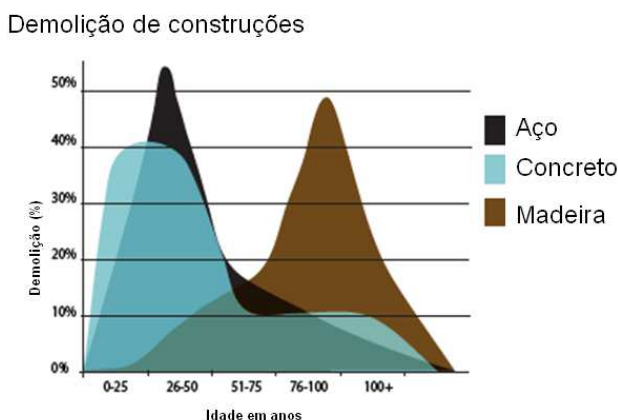
A adoção de práticas adequadas de manutenção pelos usuários, determinado pelo nível de conhecimento do usuário sobre as características da madeira, interferem na durabilidade da edificação, pela identificação de possíveis problemas, como as infiltrações (INO, 1997).

2.2.9 Desmontagem

Segundo *North American Forest Products Industry by the BC* (2009), uma das principais premissas de um projeto sustentável é a durabilidade dos edifícios. Para isto, os requisitos mais importantes são

a utilização de sistemas de construção e de materiais que possam se adaptar a evolução das necessidades, quer através da renovação ou da desconstrução e reutilização. Devido aos seus pesos e trabalhabilidade, as estruturas de madeira são fáceis para desmontagem e para a adaptação a outros usos. Um levantamento dos edifícios demolidos entre 2000 e 2003 em Minneapolis, nos Estados Unidos, mostra uma maior expectativa de vida para os edifícios de madeira, já que se adaptam melhor as transformações de espaço e função (*NORTH AMERICAN FOREST PRODUCTS INDUSTRY BY THE BC*, 2009), conforme Figura 17.

Figura 17: Pesquisa sobre vida útil real de imóveis norte-americanos.



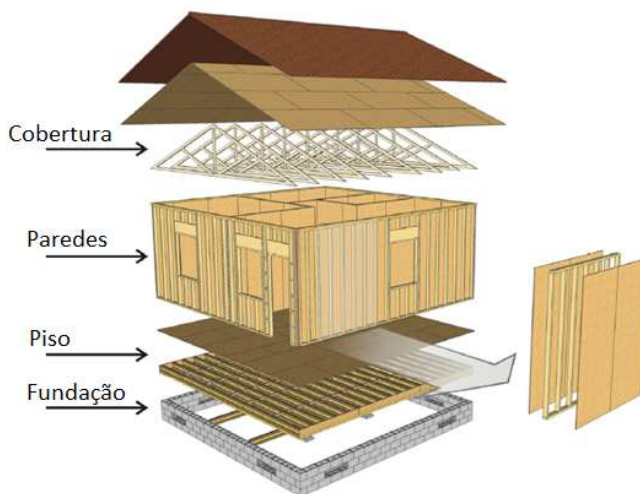
Fonte: *North American Forest Products Industry by the BC*, (2009).

2.3 CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA PLATAFORMA DE MADEIRA

Para definição das partes do Sistema Plataforma de madeira foi utilizado o conceito de subsistemas, que é composto por vários elementos, formando uma parte da edificação, com funções definidas e necessárias para o cumprimento do desempenho.

No Sistema Plataforma, o arranjo dos subsistemas de fundação, de parede, de piso e de cobertura é responsável pela função estrutural da edificação, conforme ilustra a Figura 18. Nesta seção, são apresentados detalhes dos subsistemas e do processo construtivo dos mesmos.

Figura 18: Subsistemas (elementos) estruturais do sistema plataforma.



Fonte: Espíndola, (2010).

2.3.1 Fundação e piso

As edificações construídas com estruturas leves em madeira, geralmente, apresentam cargas relativamente reduzidas, e por isso, suas fundações podem apresentar soluções simples e econômicas. A fundação adequada a ser adotada para cada construção varia conforme a necessidade imposta pelo local da obra, podendo ser: radier, sapata corrida, sapatas isoladas ou blocos estruturais (BENOÎT, PARADIS, 2007).

De acordo com Campos (2006), quando se faz o uso da fundação tipo radier, a própria fundação pode servir de piso para a edificação. Já quando se utiliza a fundação com pilotis, é necessário executar o piso, geralmente, elevado do solo.

Os pisos, do mesmo modo que a fundação, podem ser de vários materiais: madeira, concreto, tijolos, cerâmica, e mesmo uma combinação de vários materiais. A principal característica do piso é ser uma superfície plana, capaz de resistir e transferir as forças verticais (ex. gravitacionais, sobrecargas de utilização, etc.) e as forças horizontais (ex. ações devidas ao vento) e que será utilizada como base para a ossatura em madeira (CAMPOS, 2006).

No Sistema Plataforma, na América do Norte, os pisos aéreos de

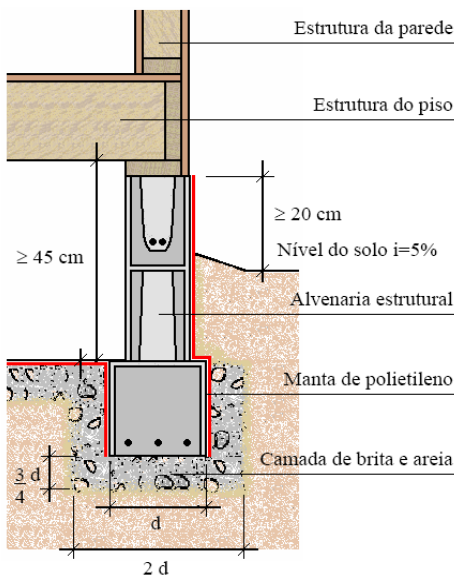
madeira são muito utilizados. Esses são indicados principalmente para construções em terrenos inclinados, terrenos muito frágeis ou úmidos, ou para os pisos de andares superiores (CAMPOS, 2006).

A estrutura do piso é composta por um quadro de vigas dispostas paralelamente e travadas transversalmente, na qual as vigas são apoiadas e fixadas às fundações. As vigas podem ser: maciças em madeira, treliças de banzos paralelos ou compostas em T ou I. O espaçamento entre as vigas pode ser de 40 ou 60 cm (AWC 2002).

A estrutura do piso pode ser composta de duas formas, dependendo da fundação: um único nível ou em dois níveis. No caso do uso de vigas baldrame de concreto ou fundação em sapata corrida, um único nível de vigas dá apoio ao piso. Quando é utilizada fundação tipo pilotis, são necessários dois níveis de vigas, um perpendicular ao outro, sendo o vigamento inferior, apoiado sobre os pilotis e o vigamento superior (barroteamento), recebendo diretamente os painéis de piso (AMERICAN PLYWOOD ASSOCIATION, 2005).

Para os alicerces de alvenaria estrutural, são procedimentos necessários de execução: o revestimento dos blocos com argamassa, a impermeabilização da superfície em contato direto com o solo e uma cinta contínua de amarração, conforme Figura 19 (SILVA, 2004).

Figura 19: Piso elevado com fundação em alvenaria estrutural.

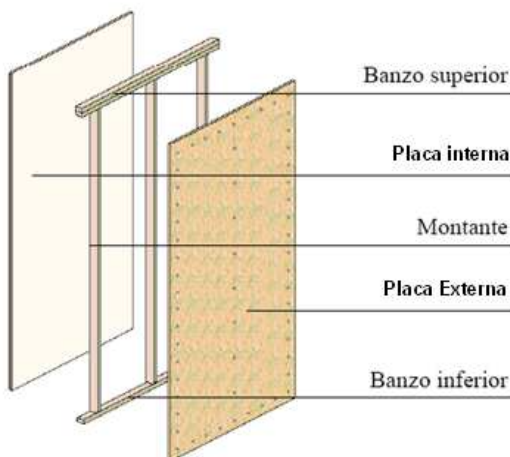


Fonte: Silva, (2004).

2.3.2 Parede

Os principais elementos da parede são: a ossatura de madeira composta por montantes, e os banzos (guias) superiores e inferiores, e as placas de fechamento interno e externo, conforme Figura 20.

Figura 20: Elementos básicos da estrutura da parede.



Fonte: Silva, (2004).

Segundo Silva (2004), a concepção do sistema busca a racionalização do uso da madeira a partir da padronização das seções transversais e a partir delas a modulação dos acessórios hidráulicos, elétricos e de acabamento para as várias possibilidades de projeto. Os montantes e os banzos formam o painel estrutural. Normalmente, essas peças são definidas por seções transversais padrão. As principais dimensões das seções transversais do sistema leve são apresentadas na Tabela 1.

O espaçamento entre os montantes depende da dimensão do painel, do posicionamento das traves de piso e das treliças de cobertura. De modo geral, utilizam-se os espaçamentos de 30, 40 e 60 cm.

Há ainda a possibilidade de mudança entre pavimentos, quando considerada a flexão das traves de borda e/ou do duplo banzo superior do quadro (SILVA, 2004). Para um pré-dimensionamento, o *Canadian Wood Council* (1985) considera o tipo de parede em função do tipo da carga aplicada, conforme apresenta a Tabela 2.

Tabela 1: Seções transversais padrões para montantes e banzos.


Dimensão nominal (polegadas)	Dimensão real (mm)	
	Peças secas	Peças úmidas
2 x 3	38 x 64	40 x 65
2 x 4	38 x 89	40 x 90
2 x 6	38 x 140	40 x 143
2 x 8	38 x 184	40 x 190
2 x 10	38 x 235	40 x 241
2 x 12	38 x 286	40 x 292
3 x 4	64 x 89	65 x 90
4 x 4	89 x 89	90 x 90

Fonte: Adaptado de Silva, (2004).

Tabela 2: Pré-dimensiamento dos montantes e das paredes em madeira.

Parede	Tipo da carga aplicada (permanente e sobrecarga)	Classe	Dimensão do montante (mm)	Espaçamento entre montantes (cm)	Altura da parede (m)
Interna	Sem carregamento em residência	-	38 x 38	40	2,4
	Sem carregamento em edifício	-	38 x 89	40	3,6
	Sótão acessível e telhado	2	38 x 89	60	3,6
			38 x 64	40	2,4
	Sótão inacessível mais piso	3	38 x 89	60	3,6
			38 x 64	40	2,4
	Sótão inacessível mais dois pisos	7	38 x 89	40	3,6
	Sótão acessível mais um piso	4	38 x 89	40	3,6
	Sótão acessível mais dois pisos	8	38 x 89	30	3,6
			64 x 89	40	3,6
			38 x 140	40	4,2
	Sótão acessível mais três pisos	11	38 x 140	30	4,2
	Telhado	1	38 x 64	60	3,0
			38 x 89	60	3,6
	Telhado mais um piso	5	38 x 89	40	3,6
	Telhado mais dois pisos	9	38 x 89	30	3,6
			64 x 89	40	3,6
			38 x 140	40	4,2
	Telhado mais três pisos	12	38 x 140	30	4,2

Continua...

Parede	Tipo da carga aplicada (permanente e sobrecarga)	Classe	Dimensão do montante (mm)	Espaçamento entre montantes (cm)	Altura da parede (m)
Conclusão					
Externa	Telhado e sótão	2	38 x 64	40	2,4
			38 x 89	60	3,0
	Telhado, sótão e mais um piso	6	38 x 89	40	3,0
			38 x 140	60	3,0
	Telhado, sótão e mais dois pisos	10	38 x 89	30	3,0
			64 x 89	40	3,0
			38 x 140	40	3,6
	Telhado, sótão e mais três pisos	13	38 x 140	30	1,8
Esquema construtivo para cada classe					
					
<div>1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13</div>					

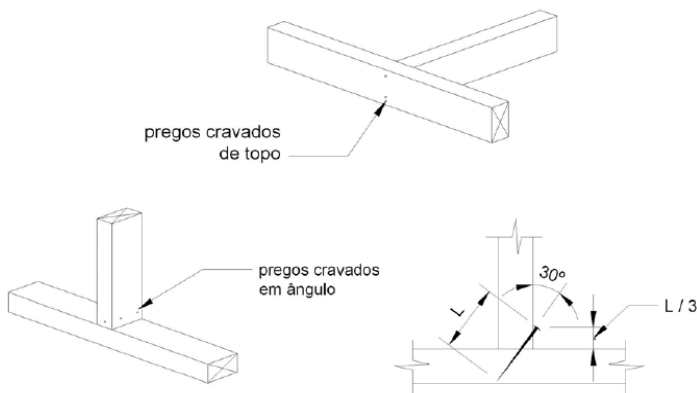
Fonte: Adaptado de CWC, (1985).

O montante com seção 38 mm × 89 mm é o mais utilizado na América do Norte para compor os painéis estruturais das edificações térreas, obedecendo a um espaçamento máximo de 60 cm. Para edificações com dois pavimentos, adota-se a mesma seção, mas com espaçamento de 40 cm. Para edificações com três pavimentos, no piso inferior, adotam-se as dimensões de 38 mm × 140 mm e de 64 mm × 89 mm e espaçamento máximo de 40 cm (AWC, 2002).

De acordo com CWC (1985), no banzo inferior do painel, utiliza-se, de modo geral, uma única peça de seção transversal igual à do montante. No banzo superior do painel, utilizam-se duas peças para travamento dos quadros, propiciando maior rigidez à flexão, porém uma única peça é admitida quando a excentricidade de montantes consecutivos não exceder a 50 mm.

Os pregos mais utilizados para estruturas leves em madeira são os pregos dos tipos liso, anelado e espiralado. A ligação entre os montantes verticais e as guias inferiores e superiores é feita, geralmente, por pregos cravados em topo ou em ângulo. Para as ligações de montantes de 38 mm × 89 mm (2"× 4"), utiliza-se, para união em topo, 2 pregos 16d (Ø = 4,1 mm e C = 88,9 mm) e, para ligações em ângulo, 3 pregos 8d (Ø = 3,3 mm e C = 63,5 mm), como mostra a Figura 21 (DIAS, 2005; AMERICAN WOOD COUNCIL, 2005).

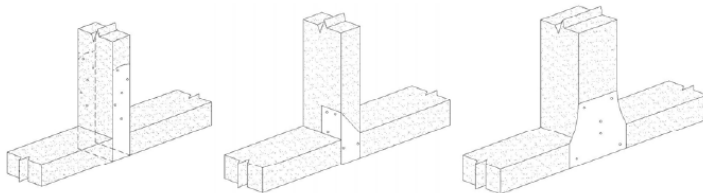
Figura 21: Pregos cravados em topo e ângulo.



Fonte: Woeste, (2001 *apud* Dias, 2005).

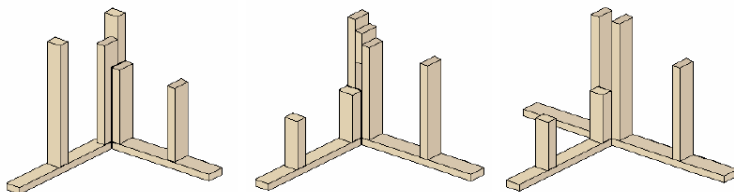
Outras formas alternativas para a união entre os montantes e as travessas da ossatura são os conectores metálicos substituindo os pregos, conforme a Figura 22.

Figura 22: Conectores metálicos para união do montante e à guia inferior.



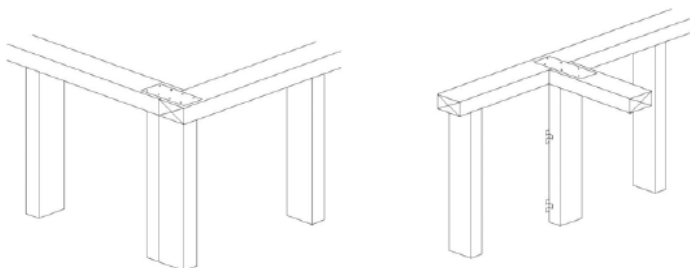
Fonte: (AMERICAN PLYWOOD ASSOCIATION, 2005).

Segundo Thallon (2002), nas interseções entre as paredes, onde as tensões são maiores, os montantes devem ser mais fortes que os montantes padrão. Nas normas de construção norte-americanas, recomenda-se, no mínimo, a utilização de montantes duplos. A Figura 23 ilustra diferentes soluções construtivas para cantos de parede e, de forma similar, as interseções entre paredes.

Figura 23: Detalhes das interseções entre as paredes.

Fonte: Silva, (2004).

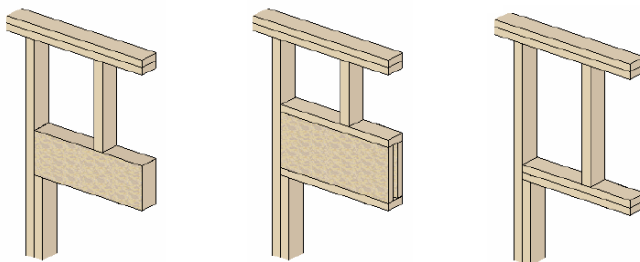
Para a união das guias superiores quando forem constituídas por dupla travessa, deve-se utilizar transpasses nas junções de canto de parede e nas emendas longitudinais, sendo a ligação realizada com 2 pregos 16d a cada 300 mm (AMERICAN WOOD COUNCIL, 2005). Quando as guias forem peças únicas, as emendas longitudinais, as junções de canto de parede e as interseções de paredes devem ser executadas com a utilização de conectores metálicos, conforme a Figura 24.

Figura 24: Conectores metálicos para guias simples.

Fonte: Adaptada de AWC, (2005).

De acordo com Dias (2002), nas paredes estruturais, as aberturas de portas e janelas recebem uma verga para a transferência das cargas do pavimento superior para os montantes laterais de apoio. Essa peça pode apresentar diversas seções transversais e/ou composições, conforme ilustra a Figura 25.

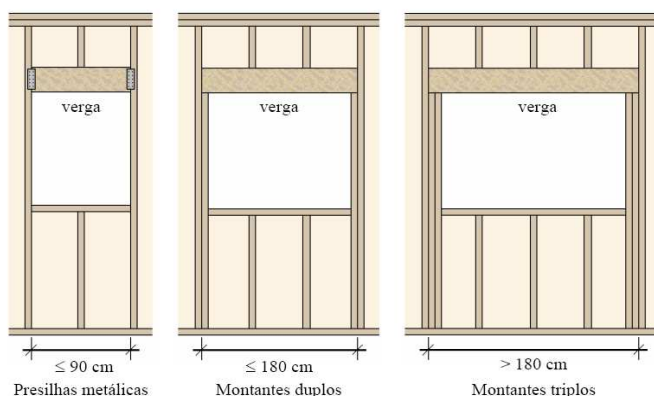
Figura 25: Aberturas de portas e janelas.



Fonte: Adaptada de AWC, (2005).

Segundo AWC (2002), no suporte das vergas, as aberturas inferiores a 180 cm devem utilizar duplos montantes, um deles servindo como apoio direto para essas peças. As aberturas superiores 180 cm devem utilizar triplos montantes, neste caso, dois deles servindo como apoio direto. Também é permitido o uso de presilhas metálicas para vãos inferiores a 90 cm, conforme mostra a Figura 26.

Figura 26: Detalhe do apoio para as vergas.



Fonte: Silva, (2004).

A ligação de um painel de parede à estrutura de fundação convencional em concreto pode ser feita por meio de parafusos de ancoragem com a dobra inferior em 90° devidamente posicionado no

momento da preparação da ferragem. Porém o mais usual para fixação dos banzos na fundação são os parafusos de ancoragem especiais, também chamados *Parabolts* (Figura 27). Estes são instalados após a finalização da estrutura de alvenaria ou concreto. O *Wood Frame Construction Manual* (2005) recomenda utilizar parafusos com diâmetro mínimo de 12,7 mm, sendo pelo menos dois parafusos por peça fixada junto à fundação, com penetração mínima de 15 cm, e espaçamento entre eles de, no máximo, 180 cm. Também deve ser previsto fixação na extremidade de cada painel, cuja distância da borda deve ser de 30 cm.

Figura 27: Tipos especiais de chumbadores.



Fonte: Espíndola, (2010).

As placas de fechamento revestem a estrutura proporcionando uma superfície plana para o acabamento interno e externo da parede. Muitas também **são fundamentais na resistência estrutural da edificação**, a seguir, destacam-se as mais usuais:

- **Placas de madeira maciça:** são peças em pranchas de madeira maciça com encaixe macho - fêmea e com juntas descontínuas.
- **Placas de gesso acartonado:** são produzidas a partir de gipsita natural e cartão dúplex. Possui como característica uma superfície lisa que facilita a atividade de acabamento, devido à sua regularidade geométrica, e dispensa também a camada de regularização, porém não podem ser usadas com função estrutural.
- **Placas cimentícias:** são produtos resultantes da mistura de cimento Portland, adições ou aditivos com reforços de fibras, fios, filamentos ou telas, com exceção de fibras de amianto, porém não podem ser usadas com função estrutural.

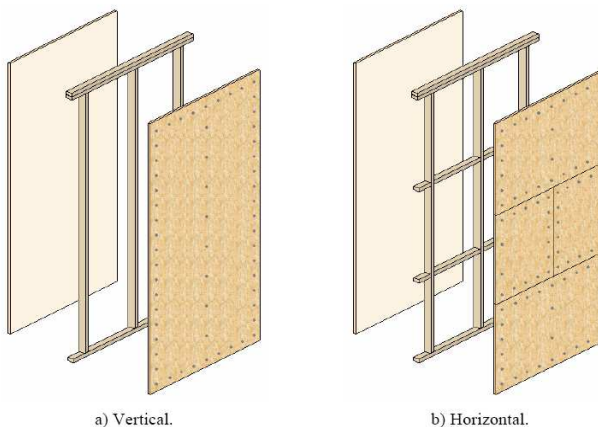
- **Placas de madeira reconstituída:** são as chapas de uso padrão. Destacam-se o OSB e o compensado. Para o primeiro, a Tabela 3 inter-relaciona a espessura, o revestimento final, o sentido de aplicação e o espaçamento entre os montantes.

Tabela 3: Fechamento em placas OSB.

Tipos de Revestimento	Madeira, vinil, PVC ou alumínio		Argamassa	
	Espaçamento entre montantes (cm)	Espessura mínima do painel (mm)	Espaçamento entre montantes (cm)	Espessura mínima do painel (mm)
Horizontal	40	10	40	11
Vertical	40	11	40	12
Horizontal	60	10	60	11
Vertical	60	11	60	15

Fonte: Masisa, (2003).

As placas podem ser fixadas no sentido vertical ou horizontal (Figuras 28 a e b respectivamente). Segundo Thallon (2000), a aplicação na vertical é mais comum e permite que todas as arestas da placa de fechamento encontrem apoio nos montantes e nas travessas da ossatura (mas somente quando o comprimento da placa corresponde à altura do pé-direito), permitindo a pregação ao longo de todo o contorno da placa. Isto não ocorre quando as placas são dispostas horizontalmente (Figuras 28 b), devendo ser acrescentados à ossatura elementos bloqueadores, ligando montantes adjacentes e servindo de base para a fixação dos pregos. Os elementos bloqueadores, inseridos na ossatura da parede, auxiliam no comportamento da edificação em situação de incêndio. De acordo com Thallon (2000), a instalação das placas na horizontal é recomendada quando houver solicitações mais acentuadas na direção perpendicular à superfície das chapas. Neste caso, a orientação das fibras da madeira é mais favorável para vencer o vão entre montantes, melhorando a rigidez. Isto acontece, por exemplo, quando a parede recebe revestimento de argamassa (*stucco*) sobre as placas de fechamento.

Figura 28: Sentido de aplicação das placas de madeira reconstituída.

Fonte: Silva, (2004).

Segundo Campos (2006), a combinação de quadros fechados com placas, formando um painel estruturado, fornece os espaços internos necessários para a passagem das instalações de água, luz, telefone e aquecimento. Sendo assim, toda a instalação elétrica e hidráulica é embutida nos painéis e toda a tubulação segue preferencialmente paralela aos montantes. Quando há a necessidade de furar o montante, recomenda-se que a abertura na madeira seja menos que 40% da seção transversal disponibilizada para a transferência dos esforços atuantes, caso contrário utilizar peças auxiliares de reforços. Outra observação é a utilização de chapas metálicas junto aos pontos recortados, para evitar que o parafuso ou o prego de fixação das placas atinja as tubulações (CESAR, 2002).

Podem fazer parte da composição dos painéis, materiais que melhorem o desempenho termo-acústico das paredes, tais como lã de vidro, lã de rocha e placas de EPS - poliestireno expandido. Estes materiais são colocados embutidos nos painéis. Outro material utilizado na composição dos painéis é a manta de polietileno de alta densidade, que servem como barreira de vento, uma vez que reduz a infiltração de ar externo para o interior da habitação. Também, assegura a estanqueidade da estrutura interna das paredes e protege contra a infiltração d' água que, eventualmente, passe através do revestimento exterior (placas). Também permite a passagem do vapor gerado internamente para fora da habitação. Isso previne o acúmulo de umidade

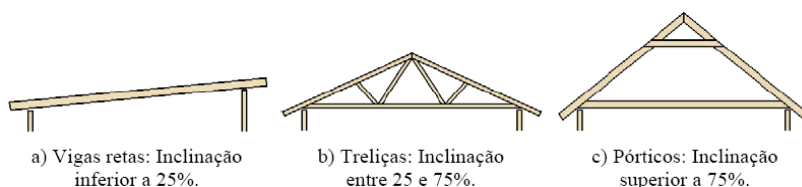
na estrutura interna das paredes, evitando a condensação da água e a perda de eficiência do isolamento térmico.

2.3.3 Cobertura

A cobertura é formada por elementos leves em madeira, podendo ser executada em diferentes formatos, utilizando-se diversos tipos e formatos de telhas. As treliças são os elementos estruturais mais usados, cujo espaçamento deve coincidir com a modulação dos quadros estruturais com o objetivo de coincidir os montantes com o eixo das treliças (CAMPOS, 2006).

Segunda Silva (2004), para os diversos formatos de cobertura definidos pela arquitetura, existem, de modo geral, três elementos estruturais básicos: as vigas retas, as treliças e os pórticos tri-articulados, conforme ilustra a Figura 29.

Figura 29: Elementos estruturais básicos de cobertura.



Fonte: Silva, (2004).

As vigas retas devem ser evitadas por serem inadequadas na ventilação e no isolamento térmico, mas quando utilizadas são fixadas nas paredes internas e externas e servem como suporte para o forro (SILVA, 2004).

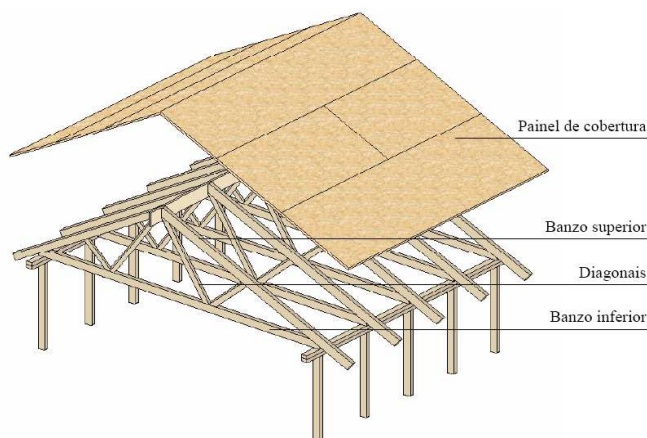
As treliças são os elementos estruturais de cobertura mais utilizados. São pré-fabricadas, leves e somente fixadas nas paredes externas da edificação. Desta forma, possibilitam maior flexibilidade na montagem e na arquitetura interna dos ambientes. Sua geometria também permite o suporte do forro e sua modulação obedece a dos montantes, geralmente a cada 60 cm (espaçamento máximo), eliminando-se a estrutura secundária de caibros e ripas, conforme mostra a Figura 30 (CWC, 1985).

Os pórticos tri articulados necessitam de adequada fixação nos

pontos de apoio. A trave inferior, fixada nas paredes internas e externas, é responsável pelo equilíbrio horizontal e pelo suporte do forro. A trave superior recebe um “colarinho” no terço superior a cada três peças. Sua modulação obedece a dos montantes e sua geometria permite o aproveitamento do sótão. (CWC, 1985).

Para proporcionar rigidez à estrutura e para servir como base para a colocação das telhas, podem ser utilizados painéis de cobertura, o OSB ou o compensado (Figura 30).

Figura 30: Elementos básicos da cobertura treliçada.



Fonte: Silva, (2004).

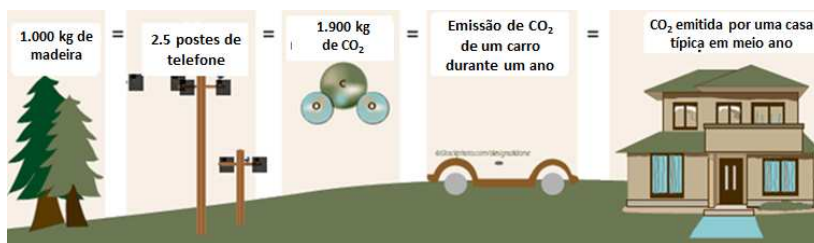
2.4 CARGAS AMBIENTAIS OCORRENTES NAS ETAPAS DE CONSTRUÇÃO DE UMA HABITAÇÃO DE MADEIRA

A madeira, originária de floresta plantada, apesar de não ter o uso difundido para produção de habitação no Brasil, tem sido apresentada como uma alternativa viável de material de construção ambientalmente mais adequado (INO e SHIMBO, 1999).

A utilização da madeira de floresta plantada como material de construção proporciona pontos positivos, tais como, a possibilidade de renovação, diminuindo a pressão sobre os recursos não renováveis e sobre as florestas naturais, além de contribuir na absorção do gás carbônico, presente atualmente em quantidade acima dos limites

aceitáveis na atmosfera (*CARBON DIOXIDE INFORMATION ANALYSIS CENTER* apud JOHN, 2000). Segundo *North American Forest Products Industry by the BC* (2009), uma árvore que cresce retira mais carbono da atmosfera do que a quantidade emitida durante todo o processo de fabricação de um produto de madeira e de envio para o canteiro de obras. Como resultado, os produtos de madeira não são apenas de carbono neutro, eles são de carbono negativo representando um crédito de carbono, que ajuda a compensar o carbono produzido por outros materiais de construção. Em média, cada tonelada de madeira bruta utilizada equivale a 1.900 kg de dióxido de carbono que é armazenado indefinidamente como ilustra a Figura 31.

Figura 31: Equivalências de carbono para madeira e CO₂.



Fonte: *North American Forest Products Industry by the BC*, (2009).

A cadeia produtiva com base no setor florestal constitui uma atividade econômica complexa e diversificada de produtos e de aplicações energéticas e industriais. No mundo inteiro, o setor florestal tem importância como fornecedor de energia ou matéria-prima para a indústria da construção civil. No Brasil, esse seguimento apresenta ainda características mais singulares em razão do fato do país estar entre os principais detentores de recursos florestais abundantes, sendo o único que possui extensa área de florestas tropicais (BUAINAIN; BATALHA, 2007). Entretanto, o Brasil desenvolveu uma complexa estrutura produtiva no setor florestal, em decorrência de suas florestas nativas, da importância mundial da indústria papeleira, de suas florestas de *pinus* e *eucaliptos* e das relações entre os produtores de equipamentos, de insumos, de projetos de engenharia e as empresas de produtos florestais (BUAINAIN; BATALHA, 2007).

O crescimento em importância do setor florestal e a posterior exaustão das florestas de araucária acabaram por catalisar o

desenvolvimento de técnicas e de processos de utilização da madeira. Hoje, no entanto, uma exigência se impõe: a revisão nos rumos e das pesquisas na área, de modo a atender as novas e as crescentes demandas da indústria. Atualmente, cerca de 70% da madeira consumida pela indústria brasileira é proveniente de floresta plantada (Tabela 4), o que representa uma alteração substancial em relação aos anos 60, quando praticamente toda a matéria-prima era proveniente de florestas nativas. A madeira de florestas nativas utilizada na indústria é praticamente toda originária da região amazônica (TOMASELLI, 1980).

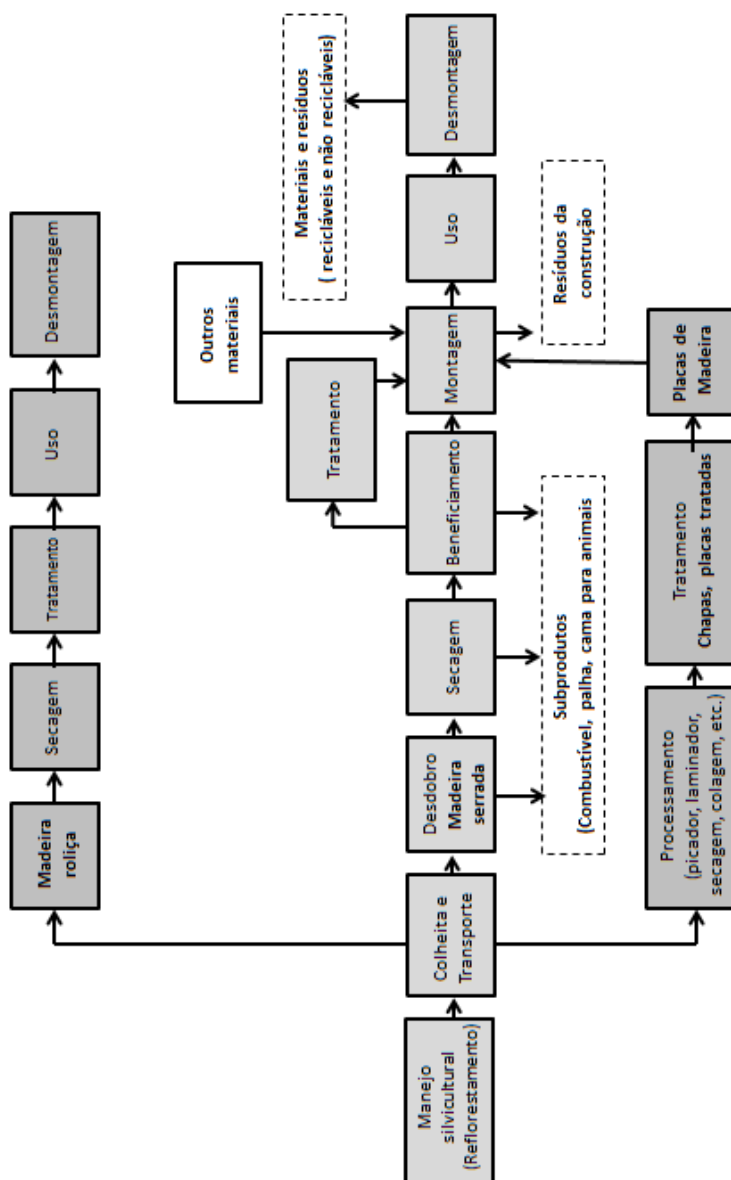
Tabela 4: Consumo de madeira em toras para uso industrial no Brasil.

Segmentos		Pinus	Eucalipto	Total	%
Celulose e papel		7.231	40.271	47.502	31,5
Painéis reconstituídos		6.194	1.737	7.931	5,1
Indústria madeireira	Compensados	5.445	154	5.599	3,6
	Serrados	25.928	3.052	28.980	18,6
Carvão		-	37.352	37.352	24,0
Outros		5.215	23.075	28.290	18,2
Total		50.013	105.641	155.654	100

Fonte: Buainain; Batalha, (2007).

Na construção civil brasileira, especificamente na produção de habitação em madeira, utiliza principalmente o *Pinus* e o *Eucalipto*, entre as espécies de floresta plantada, na forma de madeira serrada, de chapas aglomeradas, de compensados e de peças roliças. Na cadeia produtiva de habitação, principalmente destinada ao atendimento à população de baixa renda, a forma mais usual encontrada é a madeira serrada, compondo sistemas construtivos pré-cortados ou pré-fabricados (YUBA, 2001). A madeira de reflorestamento que é destinada à construção civil tem um processo de produção que pode ser representado pelo esquema elaborado na Figura 32, considerando todas as etapas.

Figura 32: Fluxograma geral do processo da madeira roliça, serrada e outros derivados.



No Brasil, a tecnologia disponível para construção de casas de madeira está, em sua maior parte, nas universidades, em função do pouco diálogo existente entre os empresários que produzem casas de madeira com os pesquisadores universitários. Outro fator que contribuiu para esta realidade é o fato de que o nosso mercado consumidor, no passado, não foi muito exigente em relação aos produtos disponibilizados pela indústria nacional da construção civil (LAROCA, 2002). Por outro lado, esta situação começa a mudar com a busca de alternativas construtivas mais rápidas e econômicas. Pequenas empresas construtoras, principalmente na região sul do País, estão adotando o Sistema Plataforma de madeira como solução construtiva para edificações térreas, predominantemente, para habitações de interesse social. Estas construções, na sua maioria, seguem os modelos e as diretrizes das normas norte americanas, porém com métodos de montagem artesanais ou semi-industrializados. Também já é possível encontrar fábricas que utilizam equipamentos para produção industrial de painéis e de módulos habitacionais, conforme Figura 33.

Figura 33: Linha de fabricação modular.



Fonte: Weinmann, (2012).

Laroca (2002) afirma que a madeira de floresta plantada é uma alternativa para a melhoria das condições de vida da população de baixa renda. Quanto ao aspecto florestal e ambiental, a madeira de floresta plantada pode ser plantada e manejada para este fim, garantindo estoques para as gerações futuras. Sob o ponto de vista sócio-econômico, pode gerar oportunidades de trabalho em regiões com

vocação florestal nas várias etapas da cadeia produtiva (serrarias, fábricas de componentes, carpintaria e usinas de tratamento). Com um baixo investimento de capital é possível transformar a produção centralizada em descentralizada sob a forma de cooperativas ou de pequenas empresas.

Os esforços em direção à produção de habitações de interesse social sustentáveis é um esforço conjunto de vários segmentos (florestas, serrarias, fabricantes e construtores) e principalmente integrando profissionais de diversas áreas do conhecimento que possam interagir nos aspectos político, cultural, ambiental e, inclusive em dimensões éticas e estéticas.

Nas próximas duas seções, serão discutidos o **consumo de energia** e a **emissão** e a **geração de resíduos** nas etapas necessárias para a produção de uma habitação de madeira, pois os critérios selecionados para a caracterização ambiental baseou-se nestes dois grupos.

2.4.1 Consumo de energia

Nesta seção será discutido o consumo de energia na produção, no transporte e na montagem de uma edificação de madeira.

Do ponto de vista de consumo de energia, a madeira apresenta um balanço positivo em relação a outros materiais de construção (ZENID, 2001). Sendo um material renovável e de baixo consumo energético, não sofre as limitações de outros materiais, cuja disponibilidade é determinada por sua extração ou produção, que são balizadas por jazidas finitas ou pela existência de recursos energéticos para sua obtenção. Sob o ponto de vista de seu emprego como um material de construção, ela traz a vantagem de ser mais simples de produzir que o aço e o concreto. Consequentemente, as demandas de investimentos industriais e de controle de poluentes são muito menos onerosas (FAGUNDES, 2003). A Tabela 5 apresenta o comparativo do consumo de energia dos principais materiais de construção.

A vantagem da madeira de floresta plantada vem ao encontro dos problemas atuais de um crescente consumo de energia, especialmente de fontes não renováveis e de implicações ambientais negativas, e as possibilidades de um colapso de seu abastecimento. Isto implica nas decisões do modo de produção na construção civil que devem considerar a energia embutida e o peso que a mesma representa para o meio ambiente (FAGUNDES, 2003).

Tabela 5: Comparativo do consumo energético dos principais materiais de construção.

Para produzir 1 tonelada	Consumo equivalente de carvão
Alumínio	4.200,00 KgEC
Plástico	1.800,00 KgEC
Aço	1.000,00 KgEC
Cimento	260,00 KgEC
Bloco de concreto	26,00 KgEC
Concreto simples	26,00 KgEC
Madeira	0,80 KgEC

Fonte: Fagundes, (2003).

Parte da energia embutida nos produtos de madeira pode ser gerada dentro da própria cadeia produtiva, quando resíduos ou sobras do processo são inseridos em caldeiras para geração de vapor e de energia elétrica. Com base em uma estufa, a estrutura para produtos de madeira requer de 1.000 a 3.500 kg de fornecimento de madeira por 1.000 kg de produtos manufaturados. As chapas reconstituídas têm rendimento mais alto e a madeira serrada mais baixo rendimento, enquanto produtos à base de lâminas têm rendimento intermediário (BRAND, 2000). Na Tabela 6 é apresentada a energia embutida destes produtos em ordem crescente de consumo de energia.

Tabela 6: Energia embutida da madeira proveniente de diferentes processos.

Materiais	Energia embutida (MJ/kg)	Fonte de dados
Madeira – aparelhada seca ar livre	0,50	Tavares e Graf (2010)
Madeira – aparelhada seca estufa	3,50	Tavares e Graf (2010)
Madeira – laminada colada	7,50	Tavares e Graf (2010)
Madeira – chapa de OSB	7,50	Fuentes (2010); Hidalgo (2011); Mateus (2004)
Madeira – chapa de compensado	8,00	Tavares e Graf (2010)
Madeira – MDF	9,00	Tavares e Graf (2010)

Segundo Barbosa, Ino e Shimbo (2000), em uma análise de ciclo de vida de um projeto estrutural feito com concreto, aço e madeira, o consumo energético para a produção de madeira foi 1,7 e 2,4 vezes menor do que o do aço e do concreto, respectivamente.

A revista *Madeira Ambiente* (2013) afirma que a energia embutida na madeira serrada, correspondente a, aproximadamente, 2,52 MJ/kg. Ela é baixa, quando comparada com outros materiais de construção. O estudo de Barbosa (2003) apresenta um levantamento do consumo energético de sete serrarias que desdobram toras de *Pinus* nos municípios de Itapeva e Itararé, com valores do consumo energético de cada equipamento utilizado no processo de desdobro das toras, do consumo total e do consumo mensal de energia e sua relação com a produção de madeira serrada, conforme Tabela 7.

Tabela 7: Consumo energético de sete serrarias que desdobram toras de *Pinus*.

	Produção mensal (m³)	Consumo de energia mensal (KWh)	Consumo de energia (KWh / m³)
Serraria A	760,00	17.694,00	23,28
Serraria B	2.394,46	23.034,00	9,61
Serraria C	2.034,00	33.802,00	16,61
Serraria D	777,00	13.889,00	17,87
Serraria E	2.150,00	68.742,00	31,97
Serraria F	620,00	30.530,00	49,24
Serraria G	1.600,00	57.661,00	36,03
Média			26,37

Fonte: Barbosa, (2003).

A etapa de transporte é responsável por causar impactos ambientais em diferentes escalas, tais como, o esgotamento de fontes para geração de energia, a geração de ruídos e a emissão de poluentes (KUNH, 2006). Assim, a escolha de materiais de construção locais ajuda a reduzir as emissões e o consumo de combustível.

Em sua dissertação, Oliveira (2005) utilizou o cálculo dos aportes energéticos para transporte de materiais, baseando-se no produto da distância transportada pela massa e por um coeficiente energético. Tal coeficiente foi, originalmente, estabelecido por Sperb (2000), considerando os valores disponíveis no Balanço Energético Nacional de 1997 sobre a massa específica do diesel, referente a 852 kg/m³, e sobre o poder calorífico do diesel de 10750 kcal/kg (no Balanço Energético de 2003 é proposto o valor de 10100 kcal/kg). A Tabela 8 apresenta coeficientes adaptados para os valores de massa específica e de poder calorífico especificado no Brasil (2003), respectivamente de 874 kg/m³ e 10180 kcal/kg (OLIVEIRA, 2005).

Tabela 8: Gastos energéticos em transportes de carga no Brasil.

Veículo	Peso bruto total (kg)	Carga líquida (kg)	Rendimento (Km/l)	Coefficiente de gastos energéticos (MJ/kg.km)
Caminhão leve	6.700	4.200	7,12	$1,229 \times 10^{-3}$
Caminhão de 2 eixos	15.000	10.700	3,18	$1,080 \times 10^{-3}$
Caminhão semipesado 3 eixos	23.000	14.300	3,18	$0,819 \times 10^{-3}$
Cavalo 2 eixos c/ semirreboque 2 eixos	33.000	20.000	2,60	$0,707 \times 10^{-3}$
Cavalo 2 eixos c/ semirreboque 3 eixos	41.500	26.400	2,10	$0,670 \times 10^{-3}$

Fonte: Oliveira, (2005).

Na montagem da edificação, a energia consumida depende, entre outros fatores, do método de montagem utilizado: artesanal, semi-industrializado ou industrializado. Os métodos semi-industrializado e industrializado consomem mais energia devido à utilização de equipamentos automatizados, como a ponte multifuncional (Figura 34).

Figura 34: Ponte multifuncional.



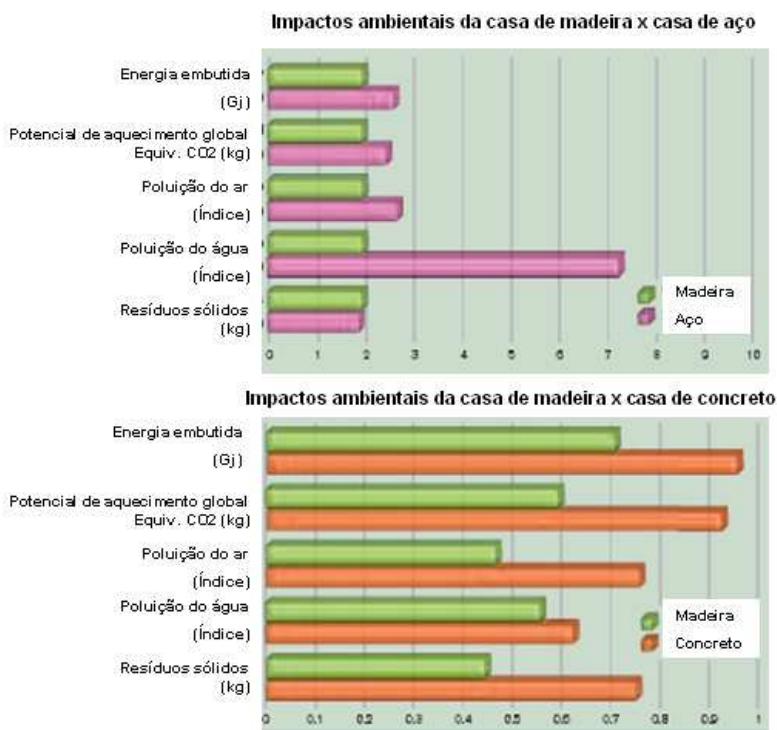
Fonte: do autor em Curitiba/PR, (2012).

Já o método artesanal, muitas vezes, utiliza apenas as serras de mão para corte dos montantes e dos painéis e, equipamentos básicos

elétricos utilizados em sistemas construtivos convencionais. Porém o tempo de montagem e o desperdício são menores nos métodos industrializados.

Em estudos realizados pelo FTP - *Technology Platform for the Forest-Based Sector* (2007) nas cidades de Minnesota e em Atlanta nos EUA, foram utilizados métodos de ciclo de vida para investigar o impacto de diferentes materiais na construção de residências unifamiliares, em diferentes condições climáticas e com semelhanças tipológicas. Os resultados mostram uma economia considerável para a construção de madeira versus a construção de aço em Minnesota e de concreto em Atlanta, em energia embutida, potencial de aquecimento global, emissão de CO_2 e outros impactos ambientais, conforme mostra a Figura 35.

Figura 35: Impactos ambientais da madeira x concreto e aço.



Fonte: FTP, (2007).

2.4.2 Emissões e geração de resíduos

Ao longo do ciclo de vida dos materiais de construção ocorrem emissões e deposições de resíduos no ambiente, envolvendo extração de minérios, processo de manufatura, atividades construtivas, atividades de manutenção e reposição de componentes e atividades de demolição (JOHN, 2000). Moriguchi (1999) afirma que resíduos são gerados, principalmente, na indústria de beneficiamento de recursos naturais, pela necessidade de remoção de impurezas e de materiais inúteis.

A Resolução n° 307 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) classifica os vários tipos de resíduos da construção civil, além de estabelecer diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. A classificação dos resíduos se dá, quanto às possibilidades de destinação, em classes A, B, C e D.

- Classe A: são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como: de construção, de demolição, de reformas e de reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem de construção, de demolição, de reformas e de reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto; de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meio fios etc.) produzidas nos canteiros de obras;
- Classe B: são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras e outros;
- Classe C: são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação, tais como os produtos oriundos do gesso;
- Classe D: são os resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como: tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde (BRASIL, 2002).

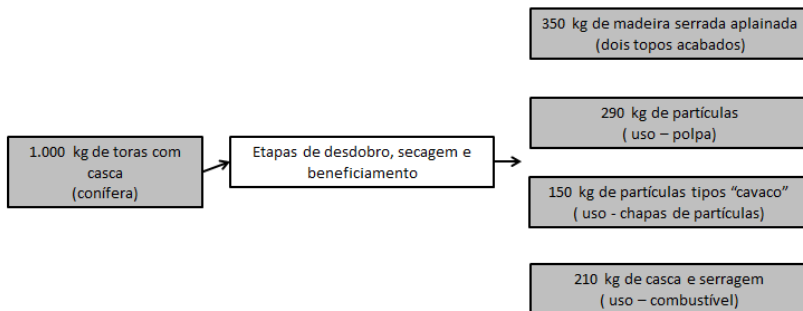
Para que um resíduo tenha destino adequado, é necessário que ele

seja classificado de acordo com a (ABNT) Associação Brasileira de Normas Técnicas, **NBR 10.004 – Classificação de resíduos**, que classifica os resíduos em três classes: I, II A e II B.

- Classe I – perigosos: aqueles que, em função de suas características intrínsecas de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade, apresentam riscos à saúde pública por meio do aumento da mortalidade ou da morbidade, ou ainda provocam efeitos adversos ao meio ambiente quando manuseados ou dispostos de forma inadequada.
- Classe II A – não-inertes: resíduos que podem apresentar características de combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade, com possibilidade de acarretar riscos à saúde ou ao meio ambiente, não se enquadrando nas classificações dos outros resíduos.
- Classe II B – inertes: aqueles que, por suas características intrínsecas, não oferecem riscos à saúde e ao meio ambiente.

Nos processos industriais da madeira, são gerados resíduos que precisam ser adequadamente gerenciados. Ainda que possam ser biologicamente degradados, a concentração destes resíduos em um determinado local, a sua deposição ou a sua queima podem causar impactos ambientais negativos. Estes resíduos do processo da madeira poderão ser aproveitados como material produtor de energia, biologicamente degradados ou serem novamente incorporados no processo produtivo de outros produtos tais como celulose, painéis e chapas de madeira reconstituída (FAGUNDES, 2003). Na transformação da madeira bruta em tábuas, pranchas, vigas ou outras peças, há um desperdício que poderá ser maior ou menor dependendo de fatores como a natureza da matéria-prima, a eficiência das máquinas empregadas pela indústria e as exigências do mercado. Em geral, uma tora não produz mais que 59 ou 60% de madeira serrada. Pode-se calcular, aproximadamente, que a metade do volume do resíduo de uma serraria é serragem e a outra metade madeira em forma de destopos e de costaneiras, além de outros tipos de resíduos, conforme Figura 36. Esta alta porcentagem de desperdício é gerada, muitas vezes, pela mudança geométrica do produto, pela liberação de tensões durante o desdobro, pela espessura do corte das serras, pela secagem de forma inadequada e pelas decisões inadequadas dos operadores das máquinas (BRAND, 2000).

Figura 36: Rendimento em madeira serrada a partir de toras com cascas de madeiras coníferas.



Fonte: Adaptado de Kock, 1976 *apud* Brand, (2000).

Fagundes (2003) afirma que a reciclagem de resíduos oriundos do processamento da madeira pelas serrarias se adéqua aos conceitos de desenvolvimento sustentável. Por isto é importante propor seu aproveitamento em outros produtos madeiráveis, que incorporem estes resíduos em sua produção, sejam economicamente viáveis, ambientalmente corretos e mercadologicamente competitivos. Tradicionalmente, o aproveitamento dos resíduos ou das sobras pelas serrarias tem sido utilizado em caldeiras para geração de vapor para a secagem da madeira processada e para produzir energia elétrica. Em alguns casos, os resíduos e as sobras, podem ser utilizados para desenvolvimentos de produtos, tais como: chapas e painéis. Em países como Canada, Estados Unidos e Alemanha, a incorporação de resíduos em produtos a base de madeira são comuns. Ao invés de serem tratados como subprodutos ou descartados, os resíduos tornam-se aptos para aumentar o aproveitamento das toras e prolongar o armazenamento do CO₂ incorporado na madeira, ou seja, manter o carbono aprisionado na madeira por mais tempo (FAGUNDES, 2003). Segundo Junior *et al.* (2011), as emissões de gases de efeito estufa (GEE) da indústria fabricante de OSB no Brasil, foram de 13.379,4 t de CO₂eq em 2010, sendo um valor de 0,0535 tCO₂eq/m³ produzido. Já o volume de carbono estocado por 1m³ foi de 279,63kgC.

Além dos processos industriais, outra grande fonte de emissões por consumo de energia, relacionada aos materiais de construção, é o transporte. Esta etapa é grande geradora de dióxido de carbono (CO₂) e outros gases poluentes, porém as cadeias produtivas de base florestal na região Sul do Brasil, atualmente em atividade, representam alternativas econômicas importantes para a geração de emprego e de renda,

inclusive, com a possibilidade da participação de um número excepcional de pequenos produtores rurais nesta atividade econômica regional, estabelecendo-se assim uma alternativa de material local pressuposto neste trabalho (BRAND, 2000; FAGUNDES, 2003).

O aumento de dióxido de carbono (CO_2) que atualmente é lançado na atmosfera é produzido por atividades antropogênicas. Estima-se que 70 a 90% destas emissões causadas por ações antrópicas são derivadas da queima de combustíveis fósseis, onde, durante a combustão, a maior parte do carbono é emitida como CO_2 e, uma parte menor, em forma de CO , CH_4 , N_2O e outros hidrocarbonetos. Porém a estimativa de emissões de fontes móveis é uma tarefa complexa, que requer a consideração de várias questões, tais como: o tipo de transporte, o tipo de combustível consumido, a características de operação, o controle de emissões, os procedimentos de manutenção e a temperatura do ambiente (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 1996).

Para cálculo das emissões de gases do efeito estufa gerados pelo transporte, Junior e Linke (2003) sugerem que sejam utilizados, preferencialmente, fatores de emissão de CO_2 para veículos pesados europeus, uma vez que a tecnologia de motorização utilizada no Brasil se assemelha mais à dos veículos europeus, que a dos veículos americanos. A Tabela 9 apresenta valores de emissões de gases de efeito estufa, para veículos pesados europeus, com rendimento de 3,3 km/l ou 29,9 l/100 km.

Tabela 9: Fatores de emissão para veículos de carga europeus.

Fatores de emissão para veículos de carga europeus						
	NO_x	CH_4	NMVOC	CO	N_2O	CO_2
Total g/km	10	0,06	1,9	9,0	0,03	770
g/kg de combustível	42	0,2	8,0	8,0	0,1	3140
g/MJ	1,0	0,006	0,2	0,9	0,003	74

Fonte: (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 1996).

Kuhn (2006), baseada em estudos anteriores, afirma que os valores de emissão de GEE identificados no IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change* (1996), para veículos pesados europeus, com rendimento de 3,3 km/l ou 29,9 l/100 km, aproxima-se do rendimento 3,18 km/l atingido pelo tipo caminhão de transporte de carga mais

utilizado nas estradas brasileiras. Segundo Oliveira (2005), mesmo não sendo uma forma precisa de prever as emissões veiculares para o transporte de produtos da construção, estes coeficientes servem como uma referencia inicial, passível de serem aperfeiçoadas à medida que informações mais precisas sejam disponibilizadas sobre a frota e o combustível brasileiro.

A construção de edificações é responsável por uma quantidade significativa de resíduos, denominados Resíduos de Construção e de Demolição (RCD). Zordan (2005) afirma que, no Brasil, os RCD possuem características bastante peculiares. Por ser produzido num setor onde há uma gama muito grande de diferentes técnicas e metodologias de produção e cujo controle da qualidade do processo produtivo é recente, características como a composição e a quantidade produzidas dependem diretamente do estágio de desenvolvimento da indústria de construção local (qualidade da mão de obra, técnicas construtivas empregadas, adoção de programas de qualidade, etc.).

Neste sentido, o Sistema Plataforma se destaca, pois quando construído com o método industrializado, caracteriza-se por gerar pouco desperdício. Sua desmontagem ou sua demolição também é mais fácil que os chamados sistemas artesanais, pois os materiais utilizados são conectados a seco, por pregos e parafusos.

Segundo Zordan (2005) e Budke *et al.* (2011), a heterogeneidade do resíduo e a dependência direta de suas características com a obra que lhe deu origem pode mudá-lo de faixa de classificação, ou seja, uma obra pode fornecer um entulho inerte e outra pode apresentar elementos que o tornem não-inerte ou até mesmo perigoso - como, por exemplo, a presença de madeira tratada.

Atualmente, a maioria dos fornecedores trata a madeira para uso externo para prevenir o apodrecimento e o ataque de insetos xilófagos. Segundo Stumpp *et al.* (2005), boa parte das madeiras é naturalmente resistente à ação dos agentes xilófagos. Entretanto, algumas madeiras de florestas plantadas, como o *Pinus*, não são resistentes e necessitam de tratamentos preservantes. Os problemas ambientais atribuídos ao tratamento preservativo referem-se à toxicidade dos produtos convencionais disponíveis no mercado e os perigos da deposição irregular de resíduos de madeira tratada. Os produtos convencionais mencionados por Hunter (1990) e Campos (2006), utilizados para o tratamento (arseniato de cobre cromatado - CCA, borato de cobre cromatado - CCB, Pentaclorofenol e creosoto) são de alta toxicidade não só para insetos, mas também para animais e para os seres humanos, sendo atribuídas a eles propriedades cancerígenas. A madeira tratada

com CCA, entretanto, apresenta risco de contaminação reduzido em relação aos produtos químicos de preservação, segundo estudo realizado por Cooper (1993). Neste estudo, a água coletada de telhas de madeira tratada apresentou níveis de arsênio, de cromo e de cobre acima do permitido, mas no solo, próximos das peças de madeira tratada, o autor constatou que os níveis de contaminantes encontrados não foram suficientes para comprometer o crescimento de plantas.

A solução para os resíduos de madeira tratada com produtos tóxicos é um dos itens indicados como problema para a adequação ambiental desse material, no conjunto de critérios definidos pela *Environmental Building News* (EBN) (WILSON, 1997). A busca de soluções construtivas, de barreiras físicas, de controles biológicos, de inseticidas menos tóxicos (piretroídes) e de novos sistemas como o da madeira termotratada vêm de acordo aos princípios da sustentabilidade ambiental da madeira serrada para a construção civil (FAGUNDES, 2003).

2.5 AVALIAÇÃO AMBIENTAL DE PRODUTOS DA EDIFICAÇÃO

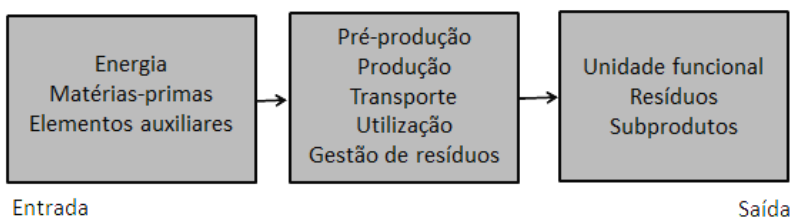
Avaliações de desempenho ambiental de edificações são procedimentos que determinam em que medida um edifício pode influenciar o ambiente, de modo que o projeto de construção ou de operação pode ser alterado para reduzir danos ambientais e aumentar a qualidade dos serviços oferecidos (GRAHAM, 2000).

Na tentativa de estabelecer-se uma compreensão abrangente e permitir uma mensuração dos impactos relacionados aos processos de produção, passou-se a usar a Análise de Ciclo de Vida (ACV). Segundo Tavares e Lamberts (2005), a ACV de uma edificação se inicia na fabricação dos materiais de construção, passa pelo transporte dos mesmos até o sítio das construções, pela obra propriamente dita, prolongando-se pela vida útil da edificação até a demolição e a deposição final dos materiais. A Figura 37 exhibe as etapas consideradas neste ciclo.

Figura 37: Ciclo de vida de uma edificação.

Fonte: Tavares e Lamberts, (2005).

Soares *et al.* (2006) afirmam que a ACV consiste na análise e na comparação dos impactos ambientais causados por diferentes sistemas que apresentam funções similares. Em outras palavras, sob a ótica ambiental, ela estabelece inventários tão completos quanto possível do fluxo de matéria e de energia para cada sistema e permite a comparação desses balanços entre si, sob a forma de impactos ambientais (Figura 38).

Figura 38: Representação esquemática da ACV.

Fonte: Adaptado de Soares *et al.*, (2006).

ACV é hoje normatizada por um conjunto de normas da série ISO 14000 (*INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION*, 1997). No Brasil, a NBR ISO 14040 estabelece os princípios gerais de uma ACV. A NBR ISO 14041 aborda a definição de objetivos, escopo e análise do inventário. A NBR ISO 14042 aborda a avaliação de impactos ambientais e a NBR ISO 14043 é voltada para a interpretação

do ciclo de vida. No plano internacional, às quatro normas citadas, são acrescentadas a ISO/TR 14047, que apresenta exemplos de aplicação, a ISO/TS 14048, que considera o formato de apresentação de dados, e, finalmente, a ISO/TR 14049, que fornece exemplos de aplicação especificamente à definição de objetivos (SOARES *et al.*, 2006).

2.5.1 Metodologia de análise do ciclo de vida

A metodologia de Análise do Ciclo de Vida tem numerosas aplicações, desde o desenvolvimento de produtos, passando pela rotulagem ecológica e pela regulação, até a definição de cenários de prioridade e de política ambiental.

A metodologia típica de ACV, normatizada pela ISO 14.040 (*INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION*, 1997), compreende quatro etapas definidas que podem interagir entre si, para aperfeiçoamento da avaliação e de outros aspectos relacionados ao produto ou edificação (KUHN, 2006). Estas etapas são: a definição de objetivos e de escopo; a análise de inventário; a avaliação dos impactos e a interpretação.

- **Definição de objetivos e de escopo** – Define e descreve o produto, o processo ou a atividade. Estabelece o contexto no qual a avaliação deve ser feita e identifica os limites e os efeitos ambientais a serem revistos para a avaliação.
- **Análise de Inventário** – Identifica e quantifica a energia, a água e os materiais utilizados e as descargas ambientais (exemplo: emissões para o ar, deposição de resíduos sólidos, descargas de efluentes líquidos).
- **Avaliação dos Impactos** – Analisa os efeitos humanos e ecológicos da utilização de energia, água, e materiais e das descargas ambientais identificadas na análise de inventário.
- **Interpretação** – Avalia os resultados da análise de inventário para elaboração das conclusões e das recomendações, seleciona o produto, o processo ou o serviço com uma compreensão clara das incertezas e das suposições utilizadas para gerar os resultados.

A elaboração de um estudo de ACV necessita normalmente de muitos recursos (recurso financeiro, ferramentas e programas computacionais, um banco de dados consistente, entre outros) e exige

muito tempo. Deste modo, os recursos financeiros deverão ser balanceados com os benefícios previsíveis do estudo. O estudo de ACV não determina qual produto ou processo é o mais caro ou funciona melhor. Por isso, a informação desenvolvida num estudo ACV deve ser utilizada como uma componente de um processo de decisão que conta com outras componentes, tais como, o custo e o desempenho (FERREIRA, 2004).

2.5.2 Métodos de ferramentas baseadas em critérios

A metodologia de análise do ciclo de vida apresenta dificuldades para aplicação direta nas avaliações de edificações. Por isso, metodologias específicas para esse fim foram desenvolvidas e praticamente todas elas têm suporte em ferramentas computacionais, devido ao volume de dados envolvidos. Há métodos distintos, enquanto uns lidam com critérios prescritivos e com informações qualitativas, outros buscam englobar também dados quantitativos e elementos da ACV. A abordagem estritamente quantitativa é uma tendência verificada nos novos métodos e ferramentas desenvolvidas, mas que é dependente, do aumento do conhecimento sobre os mecanismos naturais desencadeados pelas atividades humanas (KUHN, 2006).

Segundo Grigoletti e Sattler (2002), as ferramentas baseadas em critérios qualitativos ou prescritivos são potencialmente mais fáceis de se adaptar às realidades diferentes de seus países de origem, embora apresentem grande subjetividade. Já ferramentas que buscam quantificar impactos ambientais, fornecem resultados mais precisos, porém, baseiam-se em bancos de dados específicos a países ou regiões para os quais foram desenvolvidos. Essa característica limita suas aplicações no contexto brasileiro, já que não existe ainda um banco de dados de referência (SILVA *et al.*, 2003).

A aplicação das diferentes ferramentas de avaliação ambiental de edificações irá fornecer diferentes resultados, não diretamente comparáveis. Além disso, quando utilizadas fora de seu contexto de origem, os resultados podem não representar a realidade que se pretende avaliar. Essas diferenças, nos resultados obtidos, decorrem das diferenças entre os aspectos ambientais selecionados, os escopos e os limites definidos para a avaliação e a metodologia adotada em cada ferramenta para a identificação dos impactos (IEA ANNEX 31, 2001c).

Silva (2003) afirma que, embora sejam poucas as ferramentas voltadas à avaliação ambiental de edificações, as quais sigam

rigidamente a metodologia de ACV, praticamente todas elas extraem do método o conceito de avaliar impactos ao longo do ciclo de vida, o que faz transparecer em suas estruturas o uso de alguns elementos comuns aos da ACV. Segundo Oliveira (2005), é possível identificar nos sistemas de avaliação, apesar das diferenças, um conjunto mais ou menos comum de elementos e etapas, dispostos dentro de uma sequência, que permite aos usuários fornecerem dados e obterem resultados de desempenho ou de potenciais impactos associados à produção e ao uso da edificação. Estas etapas sequenciais são: (a) a definição de metas e do escopo, (b) a definição de fronteira, (c) a definição de critérios e (d) a apresentação dos resultados.

a) A definição de metas e do escopo é uma etapa importante em um sistema de avaliação, pois define quando a ferramenta deverá ser utilizada e qual o seu propósito. Muitas das questões relacionadas à definição de uma estrutura de avaliação não podem ser realizadas sem que fique claro quem é o usuário, que decisões ele tomará e quando serão tomadas (OLIVEIRA, 2005). O escopo deste trabalho está relacionado às questões ambientais a serem caracterizadas.

b) A fronteira do sistema define a escala do objeto que será avaliado, podendo ser, por exemplo, a escala de materiais, de subsistemas da edificação ou a edificação como um todo. Também define as etapas do ciclo de vida que são incluídas ou excluídas da avaliação (IEA ANNEX 31, 2001d). Em síntese, as fronteiras do sistema determinam a escala na qual o objeto é analisado (IEA ANNEX 31, 2001b). A condução de uma ACV requer mais ou menos tempo e recursos. A IEA ANNEX 31 (2001c) indica que um balanço entre a praticidade e a validade dos resultados deve ser buscado ao se delinear esses limites.

c) Os critérios são definidos em função das metas e do escopo, e devem estar relacionados às questões ambientais incluídas no escopo da avaliação (IEA ANNEX 31, 2001d). A inclusão de critérios de avaliação poderá ser feita a partir de uma seleção de critérios retirados de uma lista de impactos ambientais predefinidos, ou por definição de critérios específicos que contemplem os interesses dos agentes, incluindo impactos ambientais diretos, aspectos relacionados às questões ambientais, tais como, o desempenho térmico e a durabilidade, ou ainda, as características fora do escopo ambiental, tais como, os custos operacionais e rentabilidade financeira (A IEA ANNEX 31, 2001a).

Segundo Kuhn (2006), os critérios podem estar relacionados à mesma categoria de impacto, fazendo com que muitas estruturas de avaliação sejam organizadas de maneira hierárquica. A autora também

afirma que as barreiras para a definição de critérios são decorrentes da dificuldade ou da impossibilidade de se mensurar quantitativamente grande parte dos impactos ambientais.

d) A questão-chave na comunicação de resultados relaciona-se a dois itens, se a demonstração do desempenho do edifício é feita através de um indicador único ou, simplesmente, através de um número de pontos em relação ao total possível, e se esta demonstração do resultado é absoluta ou relativa, isto é, se a classificação do desempenho posiciona o edifício avaliado em relação ao desempenho típico do mercado (FINEP, 2007).

Oliveira (2005), em seu trabalho, incorporou um referencial teórico para a avaliação de múltiplos critérios com base na definição de perfis e de faixas de desempenho. Esta abordagem propõe-se a expressar o desempenho de um produto na forma de perfil de desempenho e avaliá-lo em comparação com faixas de desempenho e não em valores absolutos. Assim, um valor é selecionado, não por atender a um valor específico de desempenho de um requisito de desempenho, mas sim por se enquadrar a uma faixa de desempenho. Esta solução poderá também acarretar, para o caso de aplicações específicas, a determinação de várias faixas de desempenho relacionadas aos diferentes níveis de desempenho (OLIVEIRA, 2005).

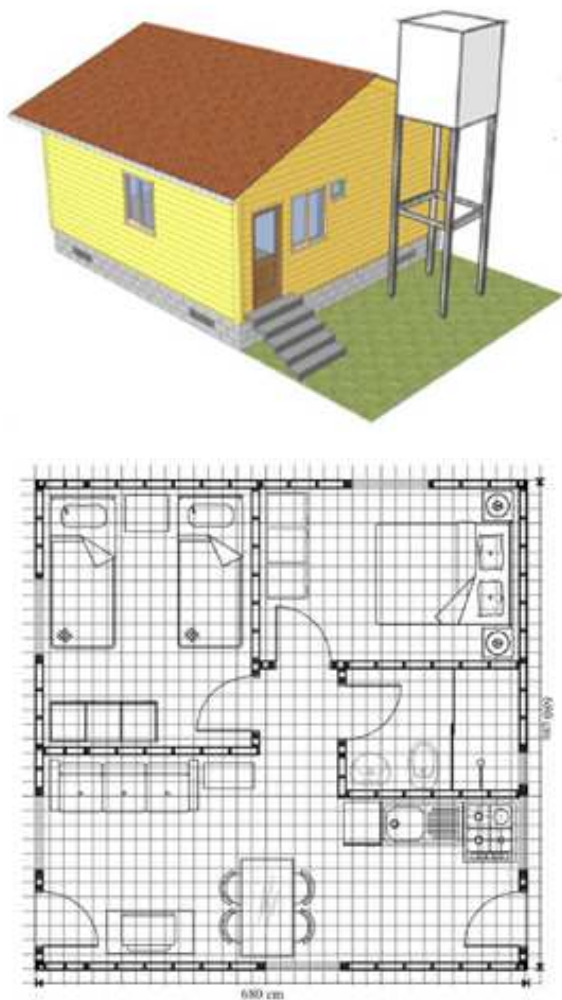
2.6 APRESENTAÇÃO DO PROTÓTIPO PARA ESTUDO DE CASO

A habitação de interesse social utilizada para o estudo de caso foi desenvolvida no Sistema Plataforma de madeira na dissertação de Espíndola (2010). O mesmo foi elaborado com 46,50 m² para atender uma família de 4 pessoas com renda de até 3 salários mínimos. O protótipo também se caracteriza por adequar os componentes do Sistema Plataforma à coordenação modular métrica. A Figura 39 apresenta uma perspectiva da HIS e a planta baixa com dois dormitórios, banho e sala e cozinha integrados.

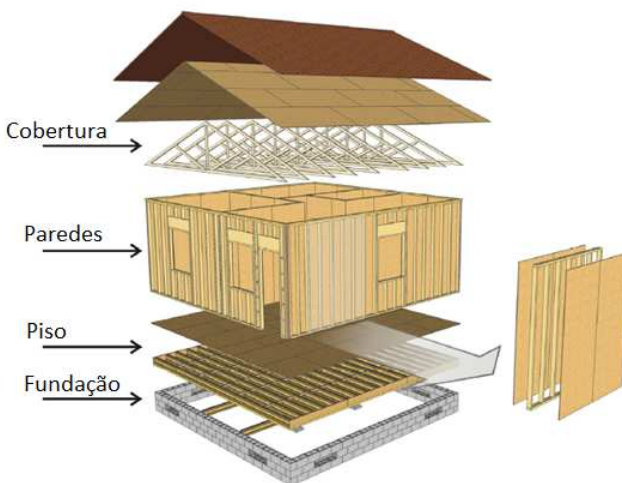
Para o desenvolvimento do projeto, a autora considerou a coordenação modular, o desempenho estrutural do Sistema Plataforma, a madeira oriunda de floresta plantada, os requisitos de durabilidade, a iluminação e a ventilação naturais e o conforto ergonômico como condicionantes de projeto. Assim, partindo dessas premissas de projeto, foram propostos três modelos de painéis verticais coordenados: o painel-fechado, o painel-porta e o painel-janela. O trabalho resulta em uma HIS projetada com esses painéis verticais, demonstrando as possibilidades de

flexibilidade espacial e de permuta de materiais de construção como uma proposta positiva para estimular a industrialização e a modernização do setor de construção de edificações em madeira (ESPÍNDOLA, 2010). Ele pode ser composto pela justaposição de vários subsistemas, os quais estão ilustrados Figura 40.

Figura 39: Perspectiva e planta baixa de 46,50 m² do protótipo da HIS.



Fonte: Espíndola, (2010).

Figura 40: Subsistemas (elementos) estruturais do sistema plataforma.

Fonte: Espíndola, (2010).

A seguir são apresentados os subsistemas da HIS com a inclusão de informações que não estavam definidas na dissertação de Espíndola (2010). As informações definidas (ou incluídas) são: especificação do concreto e vergalhões de aço para o subsistema fundação, impermeabilização asfáltica, argamassa de assentamento, malha de aço e placas cerâmicas para o subsistema piso e cantoneiras metálicas para a proteção dos beirais, substituindo as calhas especificadas pela autora, no subsistema cobertura. Também foi feito neste trabalho, o complemento dos quantitativos, incluindo os subsistemas elétrico e hidrossanitário, que não foram contemplados nos quantitativos de Espíndola (2010).

A definição destas informações (especificações) e o complemento dos quantitativos fizeram-se necessários para a identificação dos custos e para a caracterização ambiental. Os quantitativos completos dos subsistemas da HIS, feitos nesta pesquisa, estão nas tabelas do Apêndice 3.

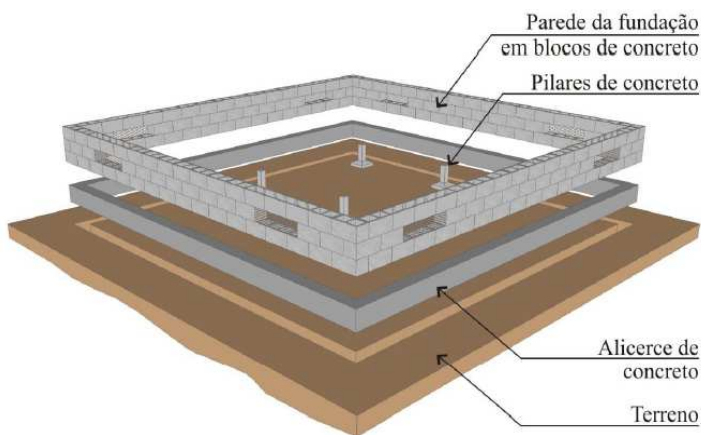
2.6.1 Fundação do protótipo em estudo

O subsistema fundação é formado por blocos de concreto com as dimensões 19 cm × 19 cm × 39 cm. Este bloco é compatível com a malha modular de referência que foi adotada para a HIS seguindo

múltiplos de 2 e 3 m. A dimensão modular de um bloco inclui a dimensão da sua junta de 1 cm, assim o bloco com dimensões reais $19\text{ cm} \times 19\text{ cm} \times 39\text{ cm}$ corresponde ao espaço modular de $20\text{ cm} \times 20\text{ cm} \times 40\text{ cm}$. Neste projeto, a área do piso corresponde a $46,50\text{ m}^2$ e as paredes da fundação contêm oito aberturas de $0,16\text{ m}^2$, totalizando uma área de aberturas de $1,28\text{ m}^2$. Essas aberturas são suportadas por blocos canaleta de $19\text{ cm} \times 19\text{ cm} \times 39\text{ cm}$, preenchidos com concreto e um vergalhão de Aço - CA-60 com diâmetro de 8 mm.

Como base para as fiadas de blocos foi proposto um alicerce de concreto com dimensões $20\text{ cm} \times 30\text{ cm}$. Foram utilizados dois vergalhões de aço com diâmetro de 8 mm na parte inferior e dois vergalhões de 5 mm na parte superior com estribos espaçados a cada 15 cm. O traço do concreto utilizado foi de 1 cimento, 8 areia média e 11 brita I, tanto para a viga de fundação, como também, para o preenchimento dos blocos. A Figura 41 apresenta a composição do subsistema

Figura 41: Subsistema fundação da HIS.



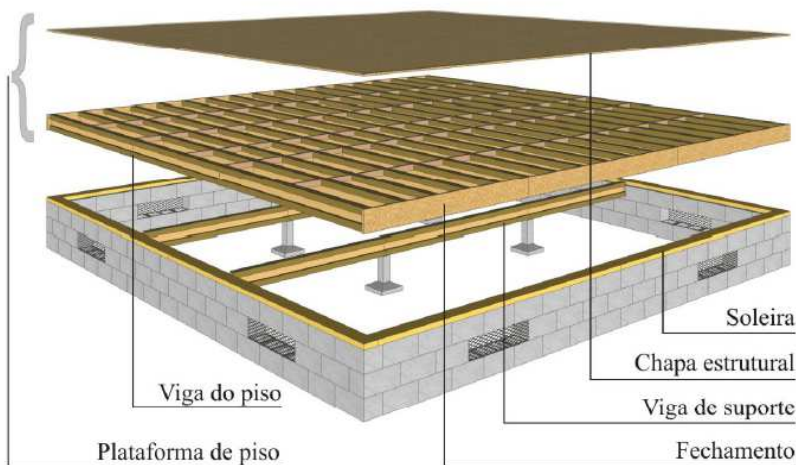
Fonte: Espíndola, (2010).

2.6.2 Piso do protótipo em estudo

O piso em forma de plataforma é composto por um conjunto de vigas contraventadas por peças intermediárias, peças de fechamento lateral externo e chapas estruturais na superfície superior das vigas. Esta

plataforma está apoiada sobre soleiras ancoradas na fundação e sobre duas vigas de suporte posicionadas sobre os pilares de concreto (ESPÍNDOLA, 2010) (Figura 42).

Figura 42: Componentes do piso.

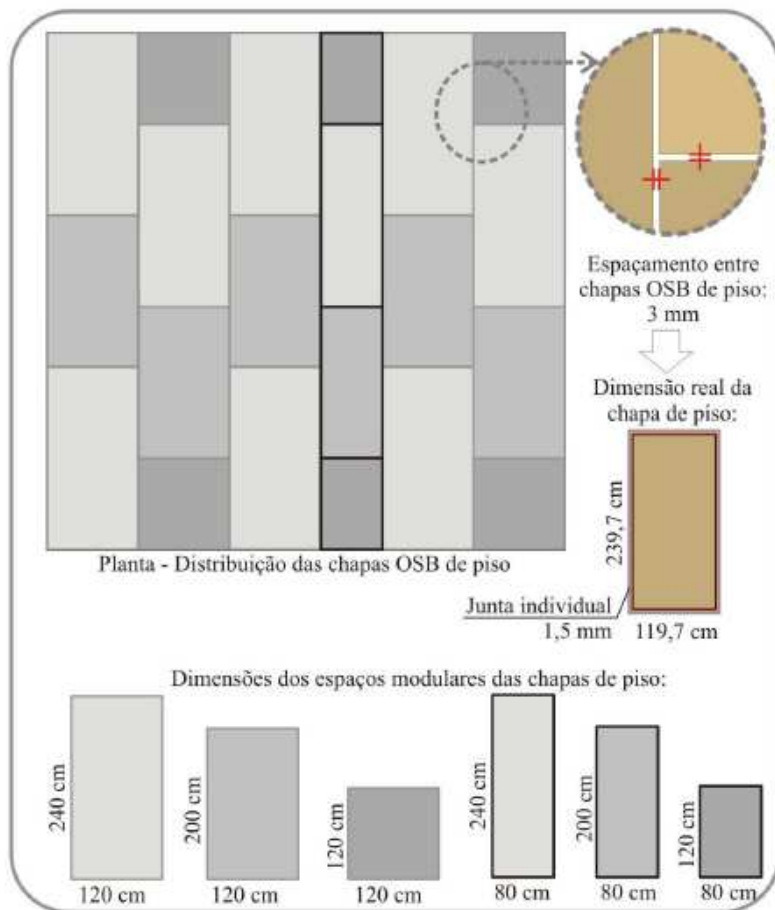


Fonte: Espíndola, (2010).

Buscando a racionalização da construção, as vigas da plataforma de piso apresentam a mesma composição das vigas de suporte. Na plataforma de piso, cada linha de viga é composta por duas vigas de comprimento 240 cm e uma viga de comprimento 195 cm. O espaçamento de 40 cm de eixo a eixo segue o mesmo espaçamento dos montantes dos painéis do subsistema das paredes (ESPÍNDOLA, 2010).

Para a face superior do piso foram adotadas chapas estruturais OSB com espessura 15,1 mm posicionadas com o maior comprimento na direção perpendicular às vigas do piso e espaçadas 3 mm entre si (ESPÍNDOLA, 2010). Sobre as chapas estruturais de OSB do piso, foi feita a impermeabilização e colocada uma malha metálica para receber a argamassa de assentamento e o piso cerâmico 20 x 20 cm. Na Figura 43 são apresentados o posicionamento e a distribuição das chapas de OSB.

Figura 43: Posicionamento e distribuição das chapas OSB no piso da HIS.



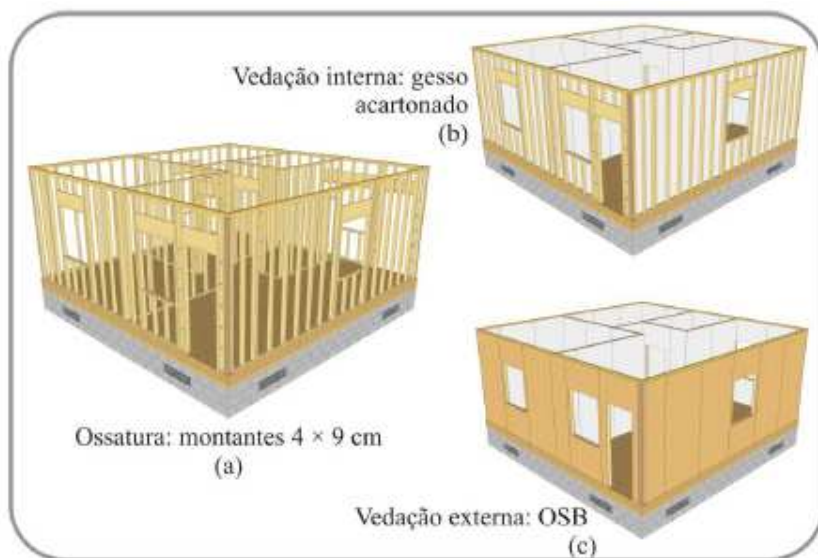
Fonte: Espíndola, (2010).

2.6.3 Paredes do protótipo em estudo

As paredes da HIS são compostas pelos painéis coordenados propostos para os vãos modulares: 60 cm × 280 cm, 120 cm × 280 cm e 240 cm × 280 cm. A ossatura dos painéis apresenta montantes e banzos com seções 4 cm × 9 cm espaçados, no máximo, a 40 cm. O fechamento externo é feito por chapas OSB de 11,1 mm de espessura e fechamento

interno por chapas de gesso acartonado de 12,5 mm de espessura, a fim de proporcionar segurança contra incêndio (ESPÍNDOLA, 2010) (Figura 44).

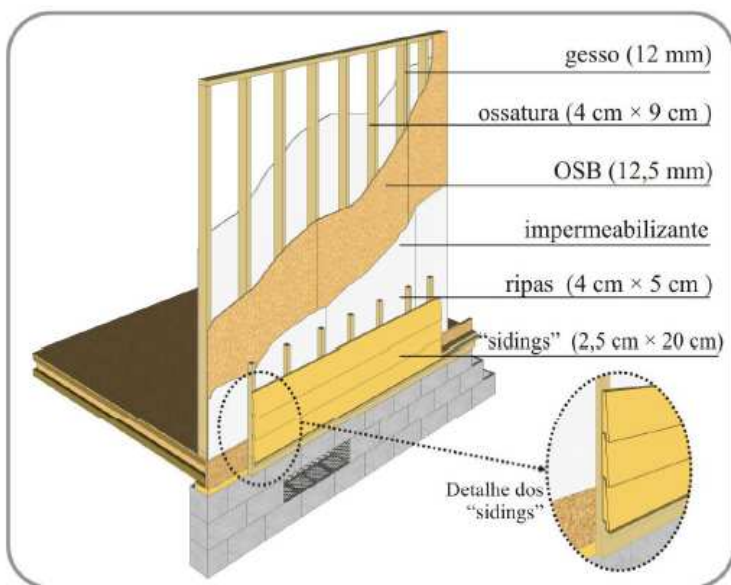
Figura 44: Perspectivas dos painéis e das vedações interna e externa.



Fonte: Espíndola, (2010).

Após a união e a fixação de todos os painéis de parede, é colocado um segundo banzo superior para **travamento**, formando um **travamento** superior duplo que auxilia na rigidez e na estabilidade das paredes (ESPÍNDOLA, 2010). Para proteger os painéis verticais contra ação de intempéries, foi utilizada uma manta de polietileno de alta densidade como material impermeabilizante sobre as chapas OSB e como revestimento final foi adotado pranchas de madeira (*sidings*) com altura de 20 cm, em madeira de *Pinus* tratados com CCA colocadas sobre ripas de madeira, para a ventilação da parede (ESPÍNDOLA, 2010), conforme Figura 45.

Figura 45: Detalhe dos elementos da parede externa.



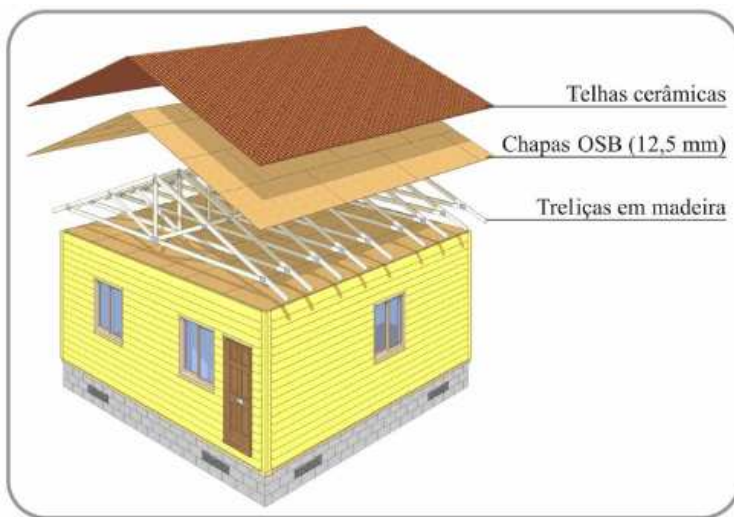
Fonte: Espíndola, (2010).

2.6.4 Cobertura do protótipo em estudo

O subsistema cobertura da HIS é composta por 9 treliças pré-fabricadas em madeira, chapas OSB e telhas cerâmicas (ESPÍNDOLA, 2010). As peças de madeira que compõem as treliças apresentam seção de 4 cm × 9 cm e são unidas por chapas dentadas (ESPÍNDOLA, 2010). Conforme ilustrado na Figura 46.

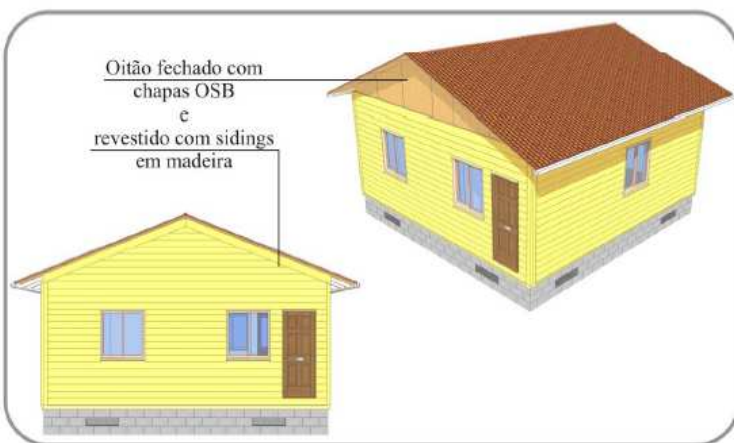
No beiral da cobertura, uma aba de madeira é pregada para proteção das extremidades das peças da treliça contra a ação das intempéries. Também com esse mesmo intuito, uma cantoneira metálica é instalada nos beirais formando uma pingadeira. Por fim, os oitões da habitação apresentam estrutura similar à estrutura das paredes, fechados com chapas OSB, manta de polietileno de alta densidade e *sidings* de madeira fixados sobre ripas verticais de madeira (ESPÍNDOLA, 2010), conforme a Figura 47.

Figura 46: Composição da cobertura da HIS.



Fonte: Espíndola, (2010).

Figura 47: Detalhe da vedação e do revestimento dos oitões.



Fonte: Espíndola, (2010).

2.6.5 Subsistema hidrossanitário do protótipo em estudo

O subsistema hidrossanitário da habitação possui tubulações em PVC para água fria, água quente e esgoto. Para o tratamento de esgoto foram definidos o sistema fossa e filtro compactos em polietileno e, para a caixa d'água, um reservatório com capacidade de 1000 l, que está localizado em uma torre externa à cobertura da edificação (ESPÍNDOLA, 2010), conforme Figura 48.

Figura 48: Posicionamento da caixa d'água em torre externa à cobertura.



Fonte: Espíndola, (2010).

2.6.6 Subsistema elétrico do protótipo em estudo

O subsistema da rede elétrica e seus componentes seguem os critérios estabelecidos pela NBR 5410 (2004). A fiação é protegida por eletrodutos flexíveis corrugados com diâmetros de 25 mm e 32 mm, os quais se estendem pela travessa superior e pelos montantes dos painéis de parede. As caixas de interruptores e de tomadas são fixadas nas

laterais dos montantes (ESPÍNDOLA, 2010). Foi definido por Espíndola (2010), a passagem dos eletrodutos, preferencialmente, nos painéis fechados de largura modular de 120 cm e 240 cm, evitando a passagem da fiação pelos painéis porta e janela.

3 MÉTODO DE PESQUISA

Para a avaliação do ciclo de vida da HIS, optou-se por um método que tem sua estrutura definida a partir de elementos e de etapas sequenciais comuns à metodologia tipicamente utilizada em uma ACV e normatizada pela ISO 14.040, conforme apresentado na revisão bibliográfica (item 2.5).

Porém sua estrutura foi simplificada, devido à falta de um banco de dados consistente no contexto brasileiro e pelo pouco tempo disponível nesta pesquisa para fazer um inventário completo, como exigido em um ACV. Assim, foi definido um método híbrido, baseado em critérios e pontuações, tendo o propósito de **identificar as cargas e os potenciais impactos ambientais ocorridos nos subsistemas de uma habitação construída com o Sistema Plataforma de madeira**. Para isto, foram selecionados critérios ambientais relacionados e passíveis de caracterização no contexto brasileiro, e que são tradicionalmente incluídos em ferramentas de análise de ciclo de vida.

3.1 DEFINIÇÃO DA HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL PARA ESTUDO DE CASO

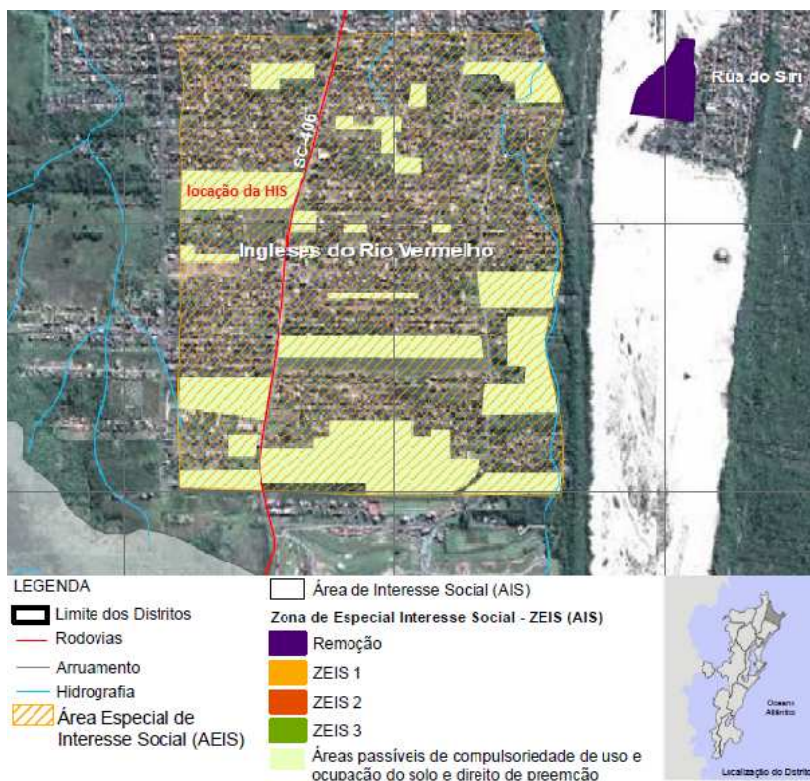
Para o estudo de caso, foi utilizando um projeto de uma habitação de interesse social desenvolvido na dissertação de Espíndola (2010). Trata-se de uma habitação de interesse social de 46,50 m² destinada a famílias com renda de até 3 salários mínimos. A habitação também se caracteriza por adequar os componentes do Sistema Plataforma com a coordenação modular decimétrica.

A habitação foi dividida em subsistemas: fundação, piso, paredes, cobertura e instalações hidrosanitária e elétrica, conforme apresentado na revisão bibliográfica (item 2.6). Foram caracterizados ambientalmente os subsistemas piso, paredes e cobertura, por se tratarem de subsistemas característicos do Sistema Plataforma de madeira. Já para identificação dos custos dos materiais foram considerados todos os subsistemas.

3.2 DEFINIÇÃO DO SÍTIO E DAS ORIGENS DOS MATERIAIS UTILIZADOS NA HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL

A escolha do sítio para localização da HIS foi definido no distrito dos Ingleses do Rio Vermelho, em Florianópolis, SC, tendo como objetivo a simulação de uma situação real para implantação de habitações de interesse social. Para isto, foi feito contato com a Secretaria Municipal de Habitação e Saneamento Ambiental, onde foi indicado uma Área Especial de Interesse Social (AEIS). Para a locação da HIS e o cálculo das distâncias exatas foi definida uma Zona de Interesse Social (ZEIS) centralizada dentro da AEIS, conforme Figura 49.

Figura 49: Mapa do local escolhido para locação da HIS.



Fonte: (FLORIANÓPOLIS, 2012).

Para definição das origens dos materiais de construção, priorizou-se a menor distância entre o sítio e as indústrias fabricantes dos materiais de construção, porém muitos dados foram obtidos em indústrias que não atendem a este critério, nestes casos, foram adotadas as distâncias entre a HIS e as indústrias que forneceram os dados para pesquisa.

3.3 QUANTIFICAÇÃO E ORGANIZAÇÃO DOS DADOS

Após a definição da habitação para estudo, foram quantificados os materiais empregados em seus subsistemas. As fontes de dados possibilitou o conhecimento das quantidades úteis utilizadas, como também, as quantidades de perdas ocorridas nos subsistemas da HIS.

Para o cálculo das quantidades úteis, foram consideradas as especificações de projeto presentes na dissertação de Espíndola (2010). Após a identificação da composição dos subsistemas foram calculadas as quantidades úteis dos materiais incorporados nas seguintes formas:

- peças de madeiras e demais materiais como placas de vedação e esquadrias, por meio de cálculo de volume e massa destes materiais;
- fixações e conectores metálicos, por meio de informações obtidas no projeto desenvolvido na dissertação de Espíndola (2010);
- produtos para acabamento, tratamento e proteção de materiais, por meio de cálculo a partir das indicações de uso apontadas pelos respectivos fabricantes.

Nos valores úteis foram acrescentados os percentuais médios de perdas na etapa da construção. Estes valores de perdas foram obtidos no levantamento de dados, por meio de aplicação de questionário (Apêndice 1) nas empresas construtoras especializadas no Sistema Plataforma de madeira.

Os cálculos dos custos, objetivo secundário deste trabalho, foram feitos em posse dos custos unitários e das quantidades de materiais consumidos.

Os dados foram organizados e estão apresentados detalhadamente nas tabelas do Apêndice 3.

3.4 LEVANTAMENTO DE DADOS

Os dados levantados são de três categorias distintas. Na primeira categoria, são apresentados os dados referentes à quantidade de materiais empregados nos subsistemas e os dados sobre a etapa de montagem. Na segunda categoria, foram apresentados os dados necessários para a avaliação ambiental e, na terceira categoria, os dados referentes aos custos de materiais e mão de obra.

Na **primeira categoria**, foram levantados os dados que identificam e quantificam a composição de cada um dos grupos de materiais que integram os subsistemas da habitação em estudo. Para isto, foi feita uma divisão dos elementos constituintes em subsistemas, que foram delimitados a partir da função que desempenham na edificação, e nomeados da seguinte maneira: fundação, piso, paredes, cobertura e instalação hidrosanitária e elétrica.

A caracterização física dos subsistemas da HIS foi realizada a partir do levantamento de dados do projeto (tais como plantas baixas, cortes e elevações) e também, por meio dos quantitativos de materiais realizados na dissertação de Espíndola (2010).

Já as informações referentes à etapa de construção, tais como, consumo de energia e desperdício, foram obtidas por meio de entrevistas e de aplicações de questionários (Apêndice 1) nas empresas construtoras especializadas no Sistema Plataforma de madeira e, também por acompanhamento de duas edificações construídas com o Sistema Plataforma de madeira em Florianópolis, utilizando o método artesanal e semi-industrializado. Os dados resultantes das entrevistas e dos acompanhamentos das obras foram trabalhados estatisticamente por meio de média simples.

Na **segunda categoria**, estão os dados dos materiais utilizados nos subsistemas da HIS necessários para a caracterização dos critérios ambientais, tais como, consumo de energia, emissões de resíduos perigosos e composição dos mesmos. Estes dados foram obtidos por meio dos seguintes procedimentos:

- 1- Entrevista presencial e aplicação de questionário com as indústrias fabricantes dos materiais de construção, conforme Apêndice 2;
- 2- Dados do desempenho médio do setor obtidos na literatura, priorizando dados nacionais.

Os procedimentos foram sequenciais, dando prioridade para os

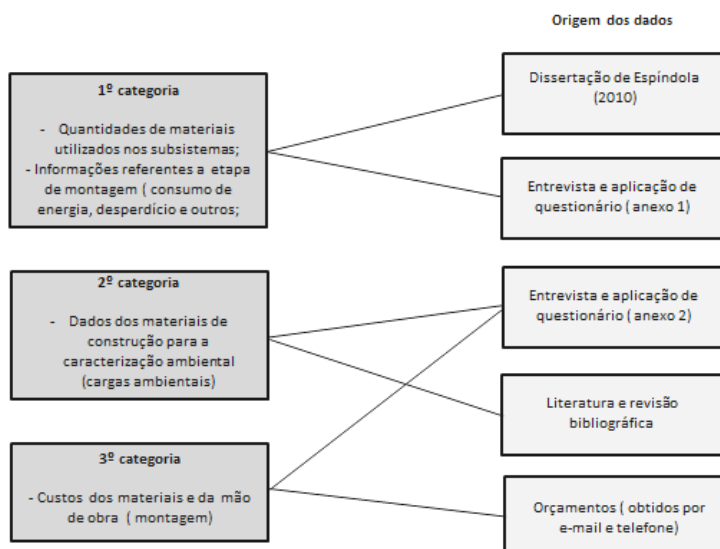
dados obtidos nas indústrias entrevistadas, porém na falta de dados das indústrias foram adotados dados obtidos na literatura.

Os dados resultantes das entrevistas foram trabalhados estatisticamente por meio de média simples. Também para a validação dos resultados obtidos nas entrevistas, os resultados foram analisados e comparados com os dados já existentes na literatura, quando possível.

Na **terceira categoria**, foram obtidos os custos unitários dos materiais de construção, por meio de entrevista presencial e aplicação de questionário com as indústrias fabricantes, conforme Apêndice 2 – Campo 7. Complementando esta etapa de identificação dos custos, também foram feitos contatos telefônicos e eletrônicos (*e-mail*) para obtenção de orçamento com os fabricantes e as lojas de materiais de construção.

Também estão nesta categoria, as informações de custos da mão de obra que foram obtidos por meio de aplicação de questionários (Apêndice 1 – Campo 5) nas empresas construtoras especializadas no Sistema Plataforma de madeira. Após obtenção destes dados (e orçamentos) foram feitas médias simples dos mesmos. A Figura 50 ilustra a relação entre as três categorias das informações com as origens dos dados.

Figura 50: Categorias das informações e as origens dos dados.



3.4.1 População consultada para levantamento de dados

A população consultada nesta pesquisa está classificada em duas categorias distintas: construtoras especializadas no Sistema Plataforma em madeira na região sul do Brasil empregando diferentes métodos construtivos e fabricantes de materiais de construção.

As construtoras foram submetidas à entrevista e à aplicação de questionários (Apêndice 1). Foram entrevistadas quatro empresas construtoras: uma utilizando o método artesanal (A), uma com método semi-industrializado (B) e duas com o método industrializado (C1 e C2). Na Tabela 10 são apresentadas a natureza das informações obtidas e as localizações das construtoras entrevistadas.

Tabela 10: Informações obtidas e as localizações das construtoras entrevistadas.

Construtoras	Método de montagem	Localização	Informações obtidas		
			Consumo energia	Desperdício	Custos
A	Artesanal	Florianópolis/SC	x	x	x
B	Semi-industrializado	Florianópolis/SC	x	x	x
C1	Industrializado	Porto Alegre/RS		x	x
C2	Industrializado	Curitiba/PR		x	x

As indústrias fabricantes dos materiais de construção utilizados na HIS foram submetidas à entrevista e aplicação de questionários (Apêndice 2). No total, foram entrevistadas 20 empresas, localizadas nos estados de Santa Catarina, Paraná, Rio Grande do Sul, São Paulo e Rio de Janeiro. Na Tabela 11, é apresentada a quantidade de empresas entrevistadas, a localização das mesmas e a natureza dos dados disponibilizados.

Tabela 11: População e localização das indústrias fabricantes e os dados disponibilizados.

Material	População	Localização	Dados disponibilizados ¹				
			Consumo de energia	Composição	Res. perigosos	Incorporação de resíduos	Reciclável
Madeira estrutura (tratada)	6	Águas Mornas - SC	x	x	x		
		Araranguá - SC	x	x	x		
		Catanduva-SC	x	x	x		
		Curitibanos - SC	x	x	x		
		Jaraguá do Sul - SC	x	x	x		
		Sto. Amaro da Imperatriz - SC	x	x	x		
Madeira abertura (não tratada)	1	Palhoça - SC			x		
Madeira OSB	1	Ponta Grossa - PR		x	x	x	x
Gesso acartonado	2	Mogi das Cruzes – SP		x	x	x	x
		Queimadas - RJ		x	x		
Massa para tratamento de junta	-	-	-	-	-	-	-
Aço carbono	2	Sapucaia do Sul - RS		x	x	x	x
		São Paulo - SP			x	x	x
Aço galvanizado	1	Joinville - SC		x	x	x	x
Vidro plano	-	-	-	-	-	-	-
Placa cerâmica esmaltada	1	Tijucas - SC					
Rejunte para placa cerâmica	2	Tubarão - SC		x		x	x
		Tubarão - SC		x		x	x
Massa acrílica para acabamento	-	-	-	-	-	-	-
Argamassa de assentamento AC II	2	Tubarão - SC		x		x	x
		Tubarão - SC		x		x	x
Membrana polietileno	-	Capivari - SP		x		x	
Tinta esmalte sintético	1	Taboão da Serra - SP		x		x	x
Emulsão asfáltica	-	-	-	-	-	-	-
Telha cerâmica	-	-	-	-	-	-	-
Placa Cimentícia	1	Capivari - SP		x	x	x	x

3.5 DEFINIÇÕES INICIAIS DO MÉTODO DE AVALIAÇÃO AMBIENTAL

As definições iniciais do método utilizado para avaliação ambiental são o **objetivo** e as **delimitações (fronteiras)** feitas nesta pesquisa.

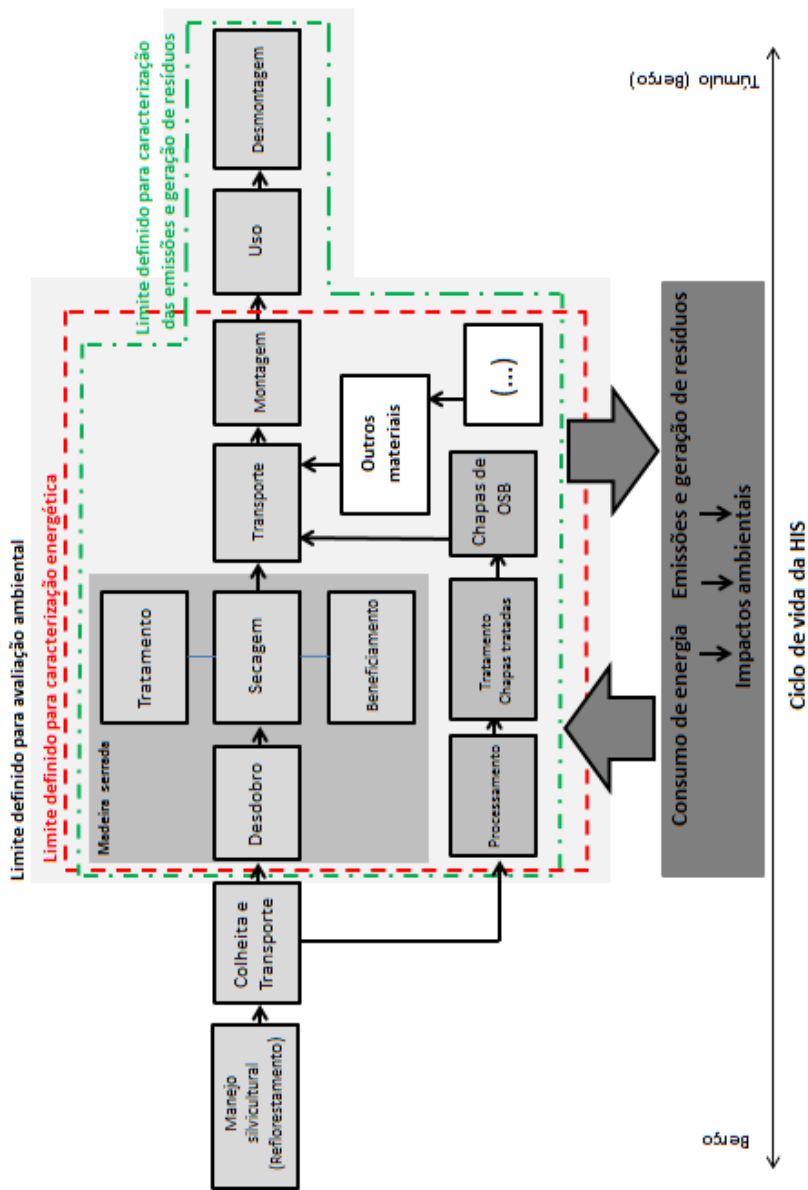
O **objetivo** (e escopo) da avaliação é identificar as cargas e os potenciais impactos ambientais ocorridos em parte do ciclo de vida dos subsistemas de uma habitação construída com o sistema plataforma de madeira.

As **fronteiras** definidas para este trabalho são:

- a avaliação ambiental apenas dos subsistemas piso, parede e cobertura, por serem comuns ao Sistema Plataforma de madeira, sendo excluídos os subsistemas fundação que pode variar dependendo da topografia do terreno e os subsistemas hidráulico e elétrico, devido os mesmos serem comuns a diferentes sistemas construtivos;
- os critérios selecionados estão classificados em dois grupos, **consumo de energia** e **emissão e geração de resíduos**, e foram caracterizados nas etapas delimitadas, conforme Figura 51. Esta delimitação foi feita pela dificuldade das empresas madeireiras informarem os dados referentes às etapas de manejo, silvicultura e colheita.

Nos próximos itens 3.6 e 3.7 são apresentados a **definição dos critérios** e a **apresentação dos resultados**, completando assim, o conjunto de etapas comuns à estrutura de análise do ciclo de vida adotada nesta pesquisa, conforme apresentando na revisão bibliográfica (item 2.5).

Figura 51: Consumo de energia e emissão e geração de resíduos nas etapas delimitadas para estudo.



3.6 DEFINIÇÃO DOS CRITÉRIOS AMBIENTAIS

Após a definição dos objetivos e das fronteiras da pesquisa, foram definidos os critérios pertinentes à avaliação ambiental de subsistemas de uma habitação de interesse social na atual conjuntura brasileira. Os critérios selecionados foram baseados nos métodos e nas ferramentas de avaliação existentes (FINEP, 2007) e em trabalhos de avaliação que utilizaram métodos híbridos no contexto nacional (KUHN, 2006, OLIVEIRA, 2005 e SPERB, 2000), objetivando a caracterização das cargas ambientais para a produção de uma habitação de madeira. Estes critérios estão classificados em dois grupos, **consumo de energia** e **emissão e geração de resíduos**, e foram caracterizados nas etapas delimitadas na Figura 51.

Na Tabela 12 são apresentados os critérios selecionados, com suas possíveis repercussões ambientais nas etapas delimitadas neste estudo.

Tabela 12: Critérios ambientais selecionados com suas possíveis repercussões ambientais nas etapas delimitadas neste estudo.

Critério	Repercussões ambientais (possíveis)	Etapas do ciclo de vida que ocorrem as repercussões ambientais
Quantidade de CO ₂ armazenado da habitação	Diminui a concentração de CO ₂ na atmosfera, contribuindo para a diminuição do aquecimento global.	Manufatura, montagem e uso
Consumo de energia e emissões de CO ₂ decorrentes do transporte	Aquecimento global, acidificação, toxidade humana e dos ecossistemas, diminuição dos recursos abióticos.	Transporte
Emissão de resíduos perigosos	Toxidade humana e dos ecossistemas, diminuição dos recursos abióticos.	Manufatura, montagem, uso e desmontagem (disposição final)
Consumo de energia para o processo de manufatura	Aquecimento global, acidificação, toxidade humana e dos ecossistemas, diminuição dos recursos abióticos e bióticos ¹ .	Manufatura
Consumo de energia para construção	Aquecimento global, acidificação, toxidade humana e dos ecossistemas, diminuição dos recursos abióticos e bióticos ¹ .	Montagem (construção)
Continua...		

Critério	Repercussões ambientais (possíveis)	Etapas do ciclo de vida que ocorrem as repercussões ambientais
Conclusão		
Consumo de recursos reaproveitados	Diminui os impactos relacionados (direta e indiretamente) a utilização dos recursos abióticos e bióticos.	Manufatura e desmontagem (disposição final)
Consumo de recursos com potencial de reciclagem	Diminui os impactos relacionados (direta e indiretamente) a utilização dos recursos abióticos e bióticos.	Manufatura e desmontagem (disposição final)
Perdas decorrentes do processo de construção	Diminui os impactos relacionados (direta e indiretamente) a utilização dos recursos abióticos e bióticos.	Montagem (construção)

¹ Depende da fonte de energia.

Não foram contemplados na avaliação ambiental critérios relativos ao:

- conforto do ambiente interno;
- operação e manutenção dos subsistemas, ao longo da etapa de uso;
- consumo de água;
- demais impactos ambientais tipicamente considerados em análises do ciclo de vida.

A seguir, são apresentados os critérios definidos para avaliação ambiental. Estes critérios buscam abranger a análise dos efeitos ambientais em parte (etapas de desdobro, secagem, beneficiamento, tratamento, transporte, montagem, uso e desmontagem) do ciclo de vida dos subsistemas avaliados da HIS.

3.6.1 Quantidade de CO₂ armazenado da habitação

Neste critério, foram quantificadas as massas dos materiais de madeira utilizados na HIS e multiplicado pela média fornecida pela *North American Forest Products Industry by the BC* (2009), que é de cada tonelada de madeira utilizada, equivale a 1.900 kg de dióxido de carbono armazenado indefinidamente na edificação, conforme Equação 1.

$$\text{quant.de CO}_2 \text{ arm.} = mm \times ma \text{ CO}_2, [\text{kg}] \quad (1)$$

sendo: mm massa dos materiais de madeira, em kg e ma CO_2 média de dióxido de carbono armazenado indefinidamente na edificação, em kg.

3.6.2 Consumo de energia e emissões de CO_2 decorrentes do transporte

Definidas as origens dos materiais utilizados, foram determinadas as distâncias entre as cidades produtoras dos materiais e a cidade onde está localizada a habitação em estudo. Estas distâncias foram obtidas de mapas eletrônicos disponíveis na Internet e estão apresentadas no Apêndice 3.

O cálculo de energia consumida foi feito por meio do produto da massa de material consumido (kg), pela distância transportada (km) e pelo coeficiente de gastos energético para transporte (MJ/kg.km), conforme Equação 2.

$$cons.ener.=m \times d \times e, [MJ] \quad (2)$$

sendo: m massa de material consumido, em kg, d distância transportada, em km, e e coeficiente de gastos energético para transporte, em MJ/kg.km.

Para obter as emissões totais, foi aplicado ao resultado do consumo de energia em MJ, o índice de emissões de CO_2 gerado pela queima de combustível em veículos pesados de transporte de carga, conforme Equação 3.

$$emis.CO_2= cons.ener. \times ie, [g] \quad (3)$$

sendo: $cons. de ener.$ consumo de energia decorrentes do transporte, em MJ e ie índice de emissões de CO_2 gerado pela queima de combustível em veículos pesados de transporte de carga, em g/MJ.

3.6.3 Emissão de resíduos perigosos

No critério de emissão de resíduos perigosos foram identificados os materiais que emitem resíduos perigosos classe 1, segundo definição

da NBR 10.004 (2004). Os resíduos perigosos da classe 1 são aqueles que representam risco aos seres humanos e ao meio ambiente, devido às suas características de inflamabilidade, de corrosividade, de reatividade, de toxicidade e de patogenicidade (NBR 10.004, 2004). A caracterização foi feita quantificando as massas dos materiais que emitem resíduos perigosos nas etapas de processos de manufatura, montagem, uso e disposição final. Não foram quantificados especificamente os resíduos perigosos emitidos, assim como não foi feita diferenciação quanto aos graus de periculosidade das diferentes emissões.

3.6.4 Consumo de energia no processo de manufatura

A caracterização do consumo de energia para processo de manufatura foi realizado a partir do produto da energia embutida dos diferentes materiais pelas suas respectivas massas, conforme Equação 4. As energias embutidas adotadas foram os valores médios das indústrias, obtidos nas entrevistas e, na falta destes dados, foram adotadas as energias embutidas da literatura. As mesmas estão apresentadas na Tabela 15.

$$cons.ener.man.=m \times ee, [MJ/kg] \quad (4)$$

sendo: m massa do material utilizado na HIS, em kg e ee energia embutida do respectivo material, em MJ/kg.

3.6.5 Consumo de energia na construção

Para caracterização deste critério foi definido um valor médio de consumo de energia para a construção de uma habitação construída com o Sistema Plataforma de madeira.

Este valor médio foi obtido por meio das aplicações de questionários (Apêndice 1) nas entrevistas com as empresas construtoras especializadas. Assim foi possível identificar o valor de energia gasto para a construção de 1m² de uma edificação residencial construída com Sistema Plataforma de madeira. Também por meio do questionário (Apêndice 1), foi identificado o percentual que cada subsistema representa no valor global de gastos energéticos na construção. Após a identificação deste valor, o mesmo foi multiplicado pela área de 46,50 m² da HIS, conforme Equação 5.

$$\text{cons.ener.contr.} = \text{vmcecs} \times a, [\text{MJ}] \quad (5)$$

sendo: *vmcecs* valor médio de consumo de energia para a construção de cada subsistema, em MJ/m² e *a* área da HIS, em m².

A caracterização deste critério, pela HIS se tratar de um projeto não construído, traz imprecisões atreladas às variáveis dos processos de construção. Também foi verificado nas entrevistas que as empresas construtoras não tinham o controle do consumo de energia para construção, principalmente quando dividido por subsistema.

3.6.6 Consumo de recursos reaproveitados

No critério de consumo de recursos reaproveitados foi contabilizada a quantidade de recursos reaproveitados, em relação à de recursos novos incorporados nos materiais que compõem os subsistemas da HIS, conforme Equação 6. Assim foram considerados materiais que sejam 100% reaproveitados, e também, os materiais que tenham em sua composição insumos reciclados, obtendo-se a massa de resíduos incorporados por meio de informações disponibilizadas pelas indústrias fabricantes no Apêndice 2.

$$\text{cons.rec.rea.} = \text{rt} - \text{rni}, [\text{kg}] \quad (6)$$

sendo: *rt* recurso total incorporado no material, em kg e *rni* recurso novo incorporado no material, em kg.

3.6.7 Consumo de recursos com potencial de reciclagem

No critério de consumo de recursos com potencial de reciclagem, identificaram-se os materiais utilizados na habitação que apresentam potencial de reciclagem, ou seja, que poderão ser reciclados no fim do ciclo de vida dos subsistemas, conforme Equação 7. Para isto, pressupõe-se que, ao fim do ciclo de vida, os subsistemas que compõem a HIS sejam submetidos a um processo de demolição seletiva.

Assim, a caracterização foi feita identificando-se e quantificando-se os materiais que possuem potencial de reciclagem por meio de informações disponibilizadas pelas indústrias fabricantes no Apêndice 2. Porém, após a identificação não foram computados os percentuais de

perdas ocorridos durante o processo de demolição seletiva, provenientes de danificação e de quebra de peças, trazendo assim, imprecisões para este critério.

$$cons.rec.pot.recl.=m-mspr, [kg] \quad (7)$$

sendo: m massa dos materiais utilizados na HIS, em kg e $mspr$ massa dos recursos sem potencial de reciclagem, em kg.

3.6.8 Perdas decorrentes do processo de construção

No critério de perdas decorrentes do processo de construção, foram identificadas as perdas e a geração de resíduos na etapa da construção dos subsistemas utilizados na HIS, conforme Equação 8. Porém, como a habitação em estudo trata-se de um projeto que não foi construído, considerou-se um índice de perdas do Sistema Plataforma de madeira. Este índice foi obtido por meio das aplicações de questionários (Apêndice 1) nas entrevistas com as empresas construtoras especializadas. Assim, foi possível identificar o desperdício global e os percentuais de perdas relacionadas a cada subsistema.

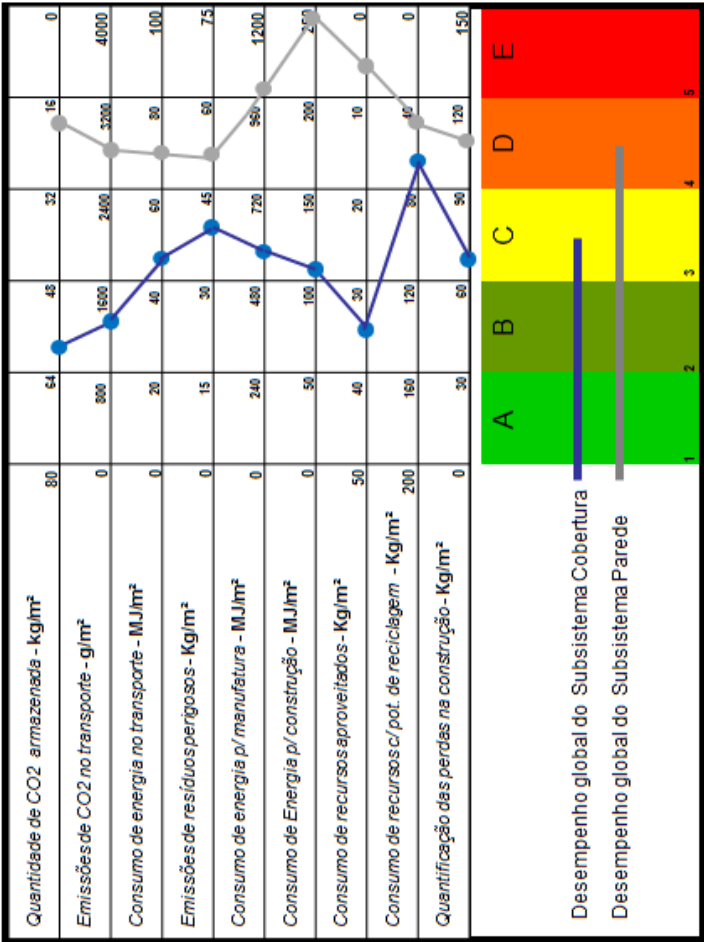
$$perd\ contr.=mf-mi, [kg] \quad (8)$$

sendo: mf massa final do respectivo material, considerando o índice de perdas, em kg e mi massa inicial, identificado na dissertação de Espíndola (2010), em kg.

3.7 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Os resultados das caracterizações são apresentados em duas formas gráficas. Um gráfico de coluna apresentando o desempenho dos subsistemas em cada critério e, um perfil de desempenho ambiental, apresentando os subsistemas tanto individualmente em cada critério, como também, obtendo-se um indicador único para os mesmos, conforme exemplo hipotético na Figura 52.

Figura 52: Exemplo hipotético do perfil de desempenho ambiental.



No perfil de desempenho, os eixos horizontais paralelos correspondem aos diferentes critérios avaliados e, portanto, possuem escalas e unidades diferentes. Sobre os eixos, a escala indica os níveis de desempenho em relação ao critério avaliado. Uma vez identificado o desempenho de cada subsistema em todos os critérios, uma linha transversal cruza todos os eixos sobre os pontos de desempenho da alternativa, determinando o perfil de desempenho de cada subsistema por m².

Neste gráfico também foi definido faixas de desempenho que implicam em repercussões ambientais negativas, assim quanto menor o valor do indicador melhor a classificação e o desempenho do subsistema nos respectivos critérios selecionados, exceto nos critérios de quantidade de CO₂ armazenado, consumo de recursos reaproveitados e consumo de recursos com potencial de reciclagem que estão posicionados em ordem decrescente. Tais faixas de desempenho resultam na classificação de desempenho por critérios, como também, possibilita a definição de um indicador único, classificando o subsistema em uma das faixas de desempenho A, B, C, D ou E.

Por meio de média simples, os valores classificados foram somados e divididos, definindo a classificação final de desempenho de cada subsistema. A adoção deste formato permite uma tomada de decisão a partir de múltiplos critérios. Também poderá ser atribuídos pesos para cada critério possibilitando uma classificação por importância de critérios, o que não foi feito neste trabalho.

As faixas de desempenho foram resultantes de análises dos trabalhos desenvolvidos por Canadian Wood Council (2004), FTP (2007), Kuhn (2006), Oliveira (2005) e Sperb (2000), que fizeram avaliações de subsistemas e edificações, por meio de métodos baseados em critérios ambientais. Assim, foi possível obter valores de referência para a tomada de decisão.

Os valores de referência são os menores e os maiores encontrados em cada caracterização. Nos menores, foi considerado zero, ou seja, nenhuma carga ou impacto ambiental gerado e, nos maiores, foram feitos arredondamentos dos maiores valores encontrados nos diferentes trabalhos. Após a definição destes valores, os intervalos foram divididos em cinco partes iguais, A, B, C, D e E. Porém é importante ressaltar que, como estes valores derivaram de outras estruturas e métodos de avaliações, há uma tendência de diferir com os resultados obtidos neste trabalho.

Para a avaliação econômica, objetivo secundário deste trabalho, foi adotado o formato de tabela, com os valores dos materiais, dos subsistemas e da habitação com um todo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados da coleta de dados e da caracterização dos critérios selecionados para a avaliação ambiental e, também, identificados os custos da HIS.

4.1 RESULTADOS DA COLETA DE DADOS PARA CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL

A seguir são apresentados e discutidos os resultados do levantamento de dados realizados no ano de 2012 nas empresas construtoras e nas indústrias fornecedoras de materiais de construção.

4.1.1 Quantidade de CO₂ armazenada na edificação

A coleta de dados para a caracterização da quantidade armazenada de CO₂ na edificação foi feita quantificando as massas dos materiais de madeira utilizados na HIS. Estes dados foram retirados do trabalho de Espindola (2010) e incluem a estrutura (painéis, vigas e tesouras), fechamentos (OSB e sidings) e aberturas (janelas e portas).

Já o valor relacionado ao armazenamento de dióxido de carbono foi obtido na literatura, conforme já mencionado no método.

4.1.2 Consumo de energia e emissões de CO₂ decorrentes do transporte

A coleta de dados para a caracterização do consumo de energia e das emissões de CO₂ decorrentes do transporte foi feita, primeiramente, identificando as massas dos materiais de construção utilizados na HIS. Estes dados foram retirados do trabalho de Espindola (2010). Também foram identificados os locais de origem dos materiais de construção por meio de entrevistas e aplicação de questionários (Apêndice 2 – Campo 6) nas empresas fabricantes de materiais de construção.

Para definição da origem dos materiais de construção, priorizou-

se a menor distância entre o sítio e as indústrias fabricantes dos materiais de construção, porém muitos dados foram obtidos em indústrias que não atendem a este critério, nestes casos, foram adotadas as distâncias entre o protótipo e as indústrias que forneceram os dados para pesquisa.

Após a definição das cidades de origem dos materiais de construção, foram determinadas as distâncias entre a localização da HIS e as indústrias fabricantes, por meio de consulta no site (<http://www.aondefica.com>). Nas tabelas do Apêndice 3, são apresentadas as cidades de origem de cada material de construção e, as distâncias entre as indústrias e a HIS.

O coeficiente de gastos energético para transporte (MJ/kg.km) foi, originalmente, estabelecido por Sperb (2000), considerando os valores disponíveis no Balanço Energético Nacional de 1997 sobre a massa específica do diesel, referente a 852 Kg/m³, e sobre o poder calorífico do diesel de 10750 Kcal/Kg (no Balanço Energético de 2003 é proposto o valor de 10100 Kcal/Kg). A Tabela 13 apresenta coeficientes adaptados por Oliveira (2005) para os valores de massa específica e de poder calorífico especificados no Brasil (2003), respectivamente de 874 Kg/m³ e 10180 kcal/Kg.

Após a verificação dos veículos mais utilizados para transporte de cada material, foi aplicado um dos coeficientes de gastos energéticos apresentados na Tabela 13.

Tabela 13: Gastos energéticos em transportes de carga no Brasil.

Veículo	Peso bruto total (kg)	Carga líquida (kg)	Rendimento (Km/litro)	Coeficiente de gastos energéticos (MJ/kg.km)
Caminhão semipesado 3 eixos	23.000	14.300	3,18	$0,819 \times 10^{-3}$
Cavalo 2 eixos c/ semirreboque 3 eixos	41.500	26.400	2,10	$0,670 \times 10^{-3}$

Fonte: Adaptado de Oliveira, (2005).

Para obter as emissões totais, foi aplicado ao resultado do consumo de energia em MJ, o índice de emissões de CO₂ gerado pela

queima de combustível em veículos pesados de transporte de carga, que é correspondente a 74g/MJ, conforme IPCC (1996). Segundo Junior e Linke (2003) este valor é adotado pela ausência de dados nacionais confiáveis e pela tecnologia de motorização utilizada no Brasil assemelhar-se mais à dos veículos que circulam na Europa do que dos veículos que circulam nos Estados Unidos.

4.1.3 Emissão de resíduos perigosos

A coleta de dados das emissões de resíduos perigosos foi feita por meio de entrevistas e da aplicação de questionários (Apêndice 2 - Campo 3 e 4), para a identificação das composições dos materiais utilizados na HIS.

Muitos dos fabricantes não preencheram os questionários (Apêndice 2 - Campo 3 e 4), disponibilizando apenas as Fichas de Informações e Segurança de Produtos Químicos (FISPQ), que em muitas vezes, não apresentaram todas as informações necessárias para as conclusões deste critério. Assim os dados necessários para a caracterização das emissões de resíduos perigosos, no ciclo de vida dos materiais utilizados na HIS, foram completados por meio da bibliografia e pela norma NBR 10.004 (2004), principal referência para esta caracterização.

Na Tabela 14, são apresentados os dados dos materiais de construções obtidos nas entrevistas para a caracterização das emissões de resíduos perigosos e a população consultada (empresas entrevistadas).

Tabela 14: Dados dos materiais de construções obtidos nas entrevistas para a caracterização das emissões de resíduos perigosos.

Material	Composição	Inflamabilidade	Corrosividade	Reatividade	Toxidade	Origem das informações	População
Madeira estrutura (tratada)	Madeira (<i>Pinus elliotti</i>), cromo, cobre, arsênio	Sim	-	-	Sim	Questionário	6
Madeira abertura (não tratada)	Madeira (Angelim)	Sim	-	-	Não	Questionário	1
Madeira OSB	Madeira (<i>Pinus elliotti e taeda</i>), emulsão parafínica, resina fenólica, resina MDI, anti-cupim	Sim	-	-	-	Questionário	1
Gesso acartonado	Gesso, celulose, vermiculita, amido fibra de vidro, parafina e ácido bórico	Não	Ph: neutro	Estável	Não	Questionário FISPQ	2
Massa para tratamento de junta	Não considerado	-	-	-	-	-	-
Aço carbono	Aço carbono, revestimento de zinco e outros metais líquidos	Não	-	Estável	-	Questionário, FISPQ	2
Aço galvanizado	Aço carbono, revestimento de zinco e outros metais líquidos	Não	-	Estável	-	Questionário FISPQ	1
Vidro plano	-	-	-	-	-	-	-
Placa cerâmica esmaltada	Argila e outros (quartzo, calcita, borax e outros)	Não	-	Estável	Não	Questionário	1
Rejunte para placa cerâmica	Cimento, agregados minerais, pigmentos inorgânicos, polímeros e aditivos não tóxicos	Não	-	Estável	-	Questionário FISPQ	2
Massa acrílica para acabamento	Não considerado	-	-	-	-	-	-
Argamassa de assentamento AC II	Areia quartzosa, cimento, cinza e aditivos especiais	Não	Ph: 12	Estável	-	Questionário FISPQ	2
Membrana polietileno	Não considerado	-	-	-	-	-	-
Tinta esmalte sintético	Resinas Alquílicas, Tolueno, Xileno, Aguárraz, solventes, aditivos, secantes metálicos, hidrocarbonetos e pigmentos orgânicos e inorgânicos	sim	-	Estável	Sim	Questionário FISPQ	1
Emulsão asfáltica	Não considerado	-	-	-	-	-	-
Telha cerâmica	Não considerado	-	-	-	-	-	-
Placa Cimentícia	Cimento, celulose, fio de polipropileno e aditivos	Não	-	Estável	Não	Questionário	1

4.1.4 Consumo de energia na manufatura

O consumo de energia na manufatura dos materiais utilizados na HIS foi um limitador para esta pesquisa, pois praticamente todas as indústrias entrevistadas desconheciam ou não informaram a energia embutida nos seus materiais. Com exceção da madeira serrada utilizada na estrutura, todos outros materiais foram adotados valores de energia embutida obtidos na literatura, conforme Tabela 15.

Tabela 15: Energia embutida dos materiais utilizados na HIS.

Materiais	Energia Embutida (MJ/Kg)	Fonte de dados
Madeira serrada (estrutural)	1,10	
Madeira OSB	7,50	Fuentes, (2010); Hidalgo, (2011); Mateus, (2004)
Gesso acartonado	6,10	TAVARES, 2006 a partir de dados de TAVARES, 2006; BOUSTEAD; HANCOCK, 1979; MICCETEC MG, 1982; GUIMARÃES, 1985; ALCORN, 1996; LAWSON, 1996; ANDERSEN, 1993; BLANCHARD, 1998; SCHEUER; REPPE, 2003; FINEP / PCC/ USP, AGOPYAN <i>et al.</i> , 1998; INCROPERA, 1992; VAN VLACK, 1970 apud Tavares; Graf; 2010
Madeira abertura	0,50	
Aço carbono	30,00	
Aço galvanizado	33,80	
Vidro plano	18,50	
Placa cerâmica esmaltada	5,00	
Argamassa de assentamento AC II	2,10	
Membrana polietileno	95,00	
Sidings cimentícios	6,00	
Tinta esmalte sintético	98,10	
Telha cerâmica	5,40	
Emulsão asfáltica	Não encontrado	-
Rejunte para placa cerâmica	Não encontrado	-
Massa acrílica para acabamento	Não encontrado	-
Massa para tratamento de junta	Não encontrado	-

Os dados da madeira serrada para estrutura foram obtidos por meio de entrevistas e da aplicação de questionários em seis indústrias madeireiras do estado de Santa Catarina (Apêndice 2 – Campo 1). Estas seis indústrias madeireiras foram selecionadas para esta pesquisa, pois foram as únicas que disponibilizaram as informações necessárias para

esta caracterização.

Os dados têm diferentes origens e contemplam diferentes etapas do processo da manufatura das mesmas, tais como serraria, secagem, beneficiamento e tratamento. Estes dados foram disponibilizados pelas indústrias madeireiras por meio de consulta dos gastos energéticos mensais obtidos nas faturas de energia elétrica, não levando em consideração os tipos de equipamentos e as outras tecnologias utilizadas, trazendo assim, limitações para os mesmos. Recomenda-se que em futuras pesquisas, seja feito um levantamento mais detalhado dos equipamentos utilizados para uma maior precisão da energia embutida nos materiais de construção.

O valor de 1,10 MJ/kg utilizado para a caracterização do consumo de energia no processo de manufatura da madeira serrada é resultante da média simples dos valores obtidos nas entrevistas. Na tabela 16, são apresentadas as empresas madeiras, as suas localizações e a energia embutida levantadas nas mesmas, em cada etapa.

Tabela 16: Empresas madeiras e a energia embutida levantada nas diferentes etapas de produção.

Empresas madeireiras		A	B	C	D	E	F	Consumo médio de energia (MJ / kg)
Cidade		Araranguá	Catanduvas	Curitibanos	Águas Mornas	Sto. Amaro da Imperatriz	Jaraguá do Sul	
Etapa	Desdobro	0,22		0,35	0,21	0,27	0,12	0,23
	Secagem		0,12	0,7	0,14			0,32
	Beneficiamento		0,05	0,24	0,13			0,14
	Tratamento	0,38			0,43			0,41
Total								1,10

Nos levantamentos realizados na etapa do desdobro nas cinco serrarias (A, C, D, E e F) foi obtido um valor médio de 27,16 kWh/m³ (0,23 MJ/kg), 2,90% superior ao encontrado no estudo de Barbosa (2003), que foi de 26,37 kWh/m³ (Tabela 7). As etapas de secagem e de tratamento consumiram mais energia que a etapa de desdobro, 28,12% e 43,90% respectivamente.

Na etapa de beneficiamento, o valor médio foi de 0,14 MJ/kg, consumindo 39,13% menos energia que a etapa do desdobro. O valor

1,10 MJ/kg, resultante dos somatórios destas etapas (considerando o tratamento), ficou 68,57% menor do que o valor obtido por Tavares e Graf (2010) de 3,50 MJ/kg (Tabela 6). Esta diferença acontece, provavelmente, devido à falta das etapas de plantação, de colheita e de transporte (entre a plantação e a serraria) não considerados nesta pesquisa.

4.1.5 Consumo de energia na etapa de construção

Os dados do consumo energético na etapa de construção foram obtidos por meio de entrevistas e da aplicação de questionários nas empresas construtoras especializadas (Apêndice 1 - Campo 2). Foram entrevistadas quatro empresas, uma utilizando o método artesanal (A), uma com método semi-industrializado (B) e duas com o método industrializado. Porém apenas as duas primeiras forneceram os dados do consumo de energia.

J as entrevistas e o preenchimento dos questionários nas empresas A e B, foram monitoradas construções de duas residências, utilizando os dois métodos distintos. No método artesanal foram gastos 51,10 MJ/m² para construir uma edificação de 42 m² e no método semi-industrializado (método dos painéis montado no local), o consumo de energia foi de 341,14 MJ/m² para construção de uma residência de 346 m². Porém é importante salientar que a residência de 42 m², trata-se de uma edificação térrea, com fundação rasa (sapata corrida) e quadros estruturais sem chapas estruturais (OSB). Outro fator que somou para o menor consumo de energia foi que todas as fixações (pregos) foram feitas utilizando martelo (sem gasto de energia elétrica), conforme Figura 53.

Já na residência construída no método semi-industrializado foram feitas fundações (micro estacas) e sótão com estrutura de concreto armado e vedação com blocos de concreto. Esta estrutura de alvenaria suporta dois pavimentos construídos no Sistema Plataforma de madeira, utilizando painéis estruturais (OSB) revestidos externamente com placas cimentícias. Outro fator que influenciou para o maior consumo de energia nesta residência, foram as fixações dos painéis estruturais e das placas de vedações externas e internas, feitas utilizando pregadeira pneumática e parafusadeira. Na Figura 54 é apresentada a residência construída com o método dos painéis.

Figura 53: Residência de 42m² montada no método artesanal



Fonte: do autor em Florianópolis/SC, (2012).

Figura 54: Residência de 346m² montada no método semi-industrializado.



Fonte: do autor em Florianópolis/SC, (2012).

Assim foi definido um valor médio de consumo de energia de 196 MJ para a construção de 1 m² de uma edificação residencial construída com Sistema Plataforma de madeira. Também por meio do questionário (Apêndice 1 – Campo 2) foi identificado o percentual que cada subsistema representa no valor global de gastos energéticos na construção. Na Tabela 17 são apresentados os consumos de energia para montagem das duas residências e seus respectivos subsistemas.

Tabela 17: Consumo de energia para montagem das duas residências.

Subsistema	Percentual (%)	Empresa A - Residência de 42 m² (MJ/m²)	Empresa B - Residência de 346m² (MJ/m²)	Média (MJ/m²)
Fundação	0,1	5,11	33,81	19,46
Piso	0,2	10,22	67,63	38,93
Parede	0,4	20,45	135,27	77,86
Cobertura	0,2	10,22	67,63	38,93
Hidrossanitário	0,05	2,55	16,90	9,73
Elétrico	0,05	2,55	19,90	11,23
Total	100	51,10	341,14	196,12

O método industrializado é mais utilizado para a montagem do Sistema Plataforma em países como Estados Unidos e Canadá, devido, principalmente, aos prazos reduzidos de construção. Porém, neste levantamento não foi possível identificar o consumo energético deste método, pois há poucas empresas que o utilizam. As duas empresas entrevistadas, que o utilizavam, não disponibilizaram ou não conheciam esta informação. Assim o valor definido para esta pesquisa, de 196,12 MJ/m², justifica-se pela falta de informação para o método industrializado, e também, porque as variações dos métodos artesanais e semi-industrializados ainda são os mais utilizados no país.

4.1.6 Quantidade de recursos reaproveitados

A coleta de dados para a caracterização da quantidade de recursos reaproveitados nos materiais de construções foi feita por meio de entrevistas e aplicação de questionários (Apêndice 2 - Campo 5), assim foi identificada a quantidade de recursos reaproveitados, em relação à de recursos novos incorporados. Foram considerados materiais que sejam 100% reaproveitados, e também, os materiais que tenham em sua

composição insumos reciclados.

Na Tabela 18 são apresentados os insumos que contribuem para quantidade de recursos reaproveitados, seus percentuais em cada material de construção e a população consultada (empresas entrevistadas).

Tabela 18: Insumos que contribuem para quantidade de recursos reaproveitados.

Material	Insumos que contribuem para a quantidade de recursos reaproveitados nas composições dos materiais	Quantidade de insumos reaproveitados (%)	População consultada
Madeira estrutura (tratada)	Nenhum	0	6
Madeira abertura (não tratada)	Nenhum	0	1
Madeira OSB	Nenhum	0	1
Gesso acartonado	Toda a composição (Filler)	5%	2
Massa para tratamento de junta	Não considerado	-	-
Aço carbono	Sucata	70%	2
Aço galvanizado	Sucata	70%	1
Vidro plano	Não considerado	-	-
Placa cerâmica esmaltada	Nenhum	0	1
Rejunte para placa cerâmica	Nenhum	0	2
Massa acrílica para acabamento	Não considerado	-	-
Argamassa de assentamento AC II	Toda a composição (Filler) ¹	2%	2
Membrana polietileno	Não considerado	-	-
Tinta esmalte sintético	Nenhum	0	1
Emulsão asfáltica	Não considerado	-	-
Telha cerâmica	Não considerado	-	-
Placa Cimentícia	Toda a composição (Filler) ¹	Não informado	1

¹ Não considerado devido a imprecisões nas informações.

4.1.7 Quantidade de recursos com potencial de reciclagem

A coleta de dados para a caracterização da quantidade de recursos com potencial de reciclagem foi feita por meio de entrevistas e da aplicação de questionários (Apêndice 2 - Campo 6), identificando-se os materiais utilizados na habitação que apresentam potencial de reciclagem, ou seja, que poderão ser reciclados no fim do ciclo de vida dos subsistemas.

Para isto, pressupõe-se que ao final do ciclo de vida dos subsistemas da HIS, os mesmos sejam submetidos a um processo de demolição seletiva. Na Tabela 19 são apresentados os materiais e os resultados obtidos nas entrevistas.

Tabela 19: Insumos que contribuem para quantidade de recursos reaproveitados.

Material	Potencial de reciclagem	Percentual	Observações	População consultada
Madeira estrutura (tratada)	Não	0	Deverá ser encaminhado para um aterro especial de produtos tóxicos.	6
Madeira abertura (não tratada)	Não	0	Sufrerá decomposição natural. Dependendo do estado de conservação poderá ser reutilizado.	1
Madeira OSB	Não	0	Deverá ser encaminhado para um aterro especial de produtos tóxicos	1
Gesso acartonado	Sim	100%	Poderá ser reciclado sendo utilizado na indústria cimenteira (retardante de pega do cimento), na agricultura (como corretivo da acidez do solo) e novamente inserido no processo industrial	2
Massa para tratamento de junta	Não ¹ considerado	-	-	-
Aço carbono	Sim	100%	Poderá ser reciclado e novamente inserido no processo industrial	2
Continua...				

Material	Potencial de reciclagem	Percentual	Observações	População consultada
Conclusão				
Aço galvanizado	Sim	100%	Poderá ser reciclado e novamente inserido no processo industrial	1
Vidro plano	Não	0	Foi considerado como não tendo potencial de reciclagem, pois quando existe em sua composição plástico PVD ou algum tipo de resina não poderá ser reciclado.	1
Placa cerâmica esmaltada	Não ¹ considerado	-	-	-
Rejunte para placa cerâmica	Não ¹ considerado	-	-	-
Massa acrílica para acabamento	Não ¹ considerado	-	-	-
Argamassa de assentamento AC II	Não ¹ considerado	-	-	-
Membrana polietileno	Não considerado	-	-	-
Tinta esmalte sintético	Não	-	-	1
Emulsão asfáltica	Não considerado	-	-	-
Telha cerâmica	Não ¹ considerado	-	-	-
Placa Cimentícia (sem amianto)	Sim	100%	Poderá ser reciclado e novamente inserido no processo industrial	1

¹ Materiais considerados como não tendo potencial de reciclagem, mesmo existindo processos de reciclagem de resíduos de construção (RCD) que possibilitam a reutilização destes materiais, ainda sim, é pouco utilizado na realidade brasileira.

4.1.8 Perdas na etapa da construção

Os percentuais de perdas na etapa da construção foram obtidos por meio de entrevistas e da aplicação de questionários nas empresas construtoras especializadas (Apêndice 1- Campo 3). Foram coletadas informações junto a quatro empresas construtoras, uma utilizando o método artesanal, uma com método semi-industrializado e duas com o método industrializado. Também como na coleta de dados do consumo de energia, foram monitoradas as montagens de duas residências construídas com o Sistema Plataforma de madeira.

Os percentuais de perdas dos materiais vidro, placas cerâmicas, aberturas de madeira, massa para tratamento de juntas das placas de gesso, rejunte, argamassa adesiva, pregos e parafusos foram obtidos por meio da aplicação de questionários em especialistas na colocação destes produtos e, também, por meio de contato com o departamento técnico ou de projetos das empresas fabricantes (Apêndice 1 - Campo 3). Já as placas de gesso e chapas de OSB foram quantificadas utilizando-se as quantidades definidas no trabalho de Espindola (2010) e identificado-se as sobras das mesmas. Nas tabelas do Apêndice 3 são apresentados os percentuais de perdas utilizadas para a caracterização de perdas na etapa da construção.

4.2 AVALIAÇÃO AMBIENTAL DOS SUBSISTEMAS DA HIS

A seguir são apresentadas a caracterização e a aplicação dos critérios para avaliação ambiental, conforme método apresentado no Capítulo 3 e, também, discutidos as fontes e as limitações de dados e o potencial de aperfeiçoamento de cada critério.

Os resultados são apresentados em dois formatos. No primeiro formato, os subsistemas são caracterizados em cada critério e apresentados em gráficos de colunas, estes gráficos estão apresentados entre as Figuras 55 e 64. No segundo formato, os resultados são apresentados em linhas pertencentes a cada critério, estas linhas são divididas perpendicularmente por faixas verticais de desempenho ambiental. Tais faixas de desempenho resultam na classificação de desempenho por critérios, como também, possibilita a definição de um indicador único, classificando o subsistema em uma das faixas de desempenho A, B, C, D ou E.

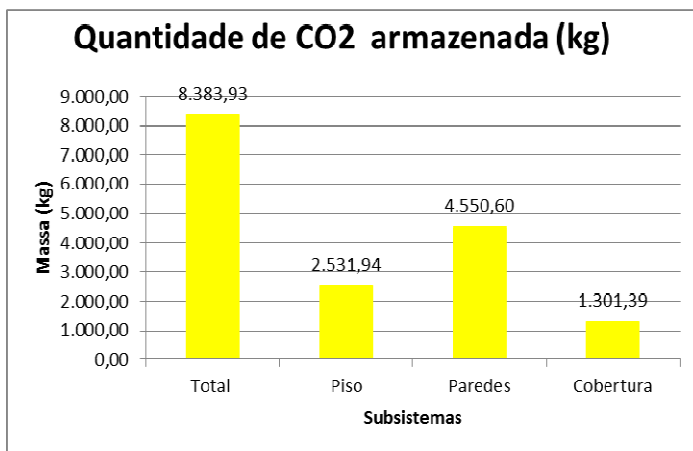
No item 4.4 é apresentado o desempenho ambiental do subsistema paredes junto com outros subsistemas (paredes de aço e

alvenaria) objetivando a verificação e validação dos resultados por meio de comparação com outras tecnologias e com outro trabalho que utilizou método similar baseado em critérios ambientais.

4.2.1 Quantidade de CO₂ armazenada na edificação

Neste critério apresenta-se a quantidade de CO₂ que foi capturada pelas árvores e está armazenada nos materiais de madeira utilizados na edificação. O valor total indentificado foi de 8.383,93 kg de CO₂ armazenado em toda a edificação. O subsistema que mais contribuiu para o valor total foi à parede, armazenado 4.550,60 kg, devido ao maior consumo de madeira. Os subsistemas piso e a cobertura armazenaram 2.531,94 kg e 1301,39 kg de CO₂ respectivamente, conforme mostra a Figura 55.

Figura 55: Quantidade de CO₂ armazenada nos subsistemas da HIS.



Segundo *North American Forest Products Industry by the BC* (2009), em uma típica casa norte americana de 232 m², construída em sistema estrutural leve de madeira, são armazenados 30.000 kg de CO₂ em sua estrutura, o que é equivalente a uma média de emissões de um automóvel de passageiros durante cinco anos. Utilizando os valores citados acima, pode-se afirmar que a quantidade de CO₂ armazenada na HIS em estudo, que tem 46,50 m² e foi armazenado 8.383 ton de CO₂,

equivale a uma média de emissões de um automóvel de passageiros durante 1 ano e 4 meses.

No estudo norte americano, a residência típica armazenou 129,31 kg de CO₂ por m², já a HIS em estudo armazenou 180,30 kg por m². Uma diferença de 50 kg de CO₂ armazenado por m² a favor da HIS. Esta diferença pode ser justificada na densidade da madeira utilizada, modulação dos painéis estruturais ou que o estudo norte americano considerou apenas a parte estrutural, não quantificando os elementos de vedação e aberturas.

A caracterização deste critério pode trazer imprecisões por se tratar de um dado estrangeiro, não condizendo com a realidade nacional. Mesmo assim, levando em consideração esta hipótese, este critério apresenta a quantidade aproximada do armazenamento de CO₂ na HIS, também podendo ser revisto com dados de armazenamento de CO₂ oriundos de medições nacionais futuras.

4.2.2 Consumo de energia e emissões de CO₂ decorrentes do transporte

Neste critério é apresentado o consumo de energia e as emissões de CO₂ decorrentes do transporte. Os resultados obtidos foram de 2.789,23 MJ de consumo de energia para o transporte dos materiais utilizados na construção da HIS, equivalendo à emissão de 203.443,50 g CO₂. Quanto ao desempenho por subsistema, verificou-se que as paredes foi o que obteve os piores resultados, contribuindo com 1.327,40 MJ de consumo energético e 9.8227,57 g de emissões de CO₂, seguido pela cobertura e piso respectivamente. Nas Figuras 56 e 57 são apresentados os resultados da caracterização dos critérios para os três subsistemas estudados.

Os veículos identificados como os mais utilizados foram o caminhão semi-pesado com 3 eixos e o caminhão com cavalo 2 eixos semi-reboque 3 eixos. Assim, os coeficientes de gastos energéticos utilizados nesta caracterização, foram os de $0,819 \times 10^{-3}$ MJ/kg.km e $0,670 \times 10^{-3}$ MJ/kg.km, conforme já apresentado na Tabela 13.

Os principais materiais contribuintes para o consumo de energia e para as emissões de CO₂ nos subsistemas caracterizados foram as placas de gesso, a madeira para a estrutura e as placas de OSB, que são fabricados há 799 km em Mogi das Cruzes-SP, 304 km em Curitiba-PR e 458 km em Ponta Grossa-PR respectivamente. No Apêndice 3, são apresentadas as distâncias e as cidades de origem de cada material e, no

Apêndice 4, estão relacionados os consumos de energia e as emissões decorrentes dos transportes de cada material utilizado nos subsistemas da HIS.

Figura 56: Consumo de energia para transporte dos materiais.

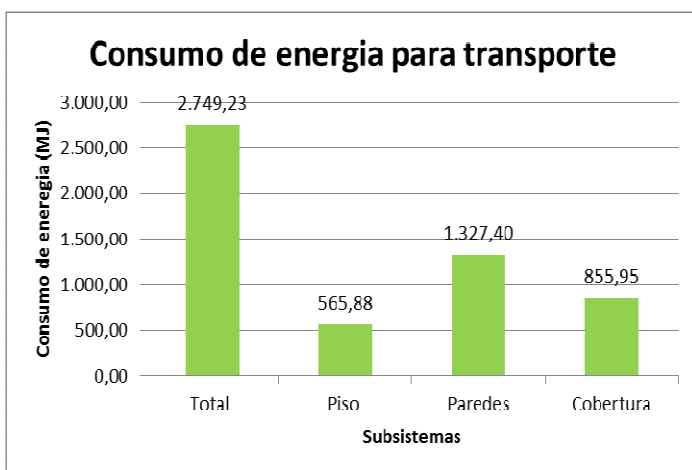
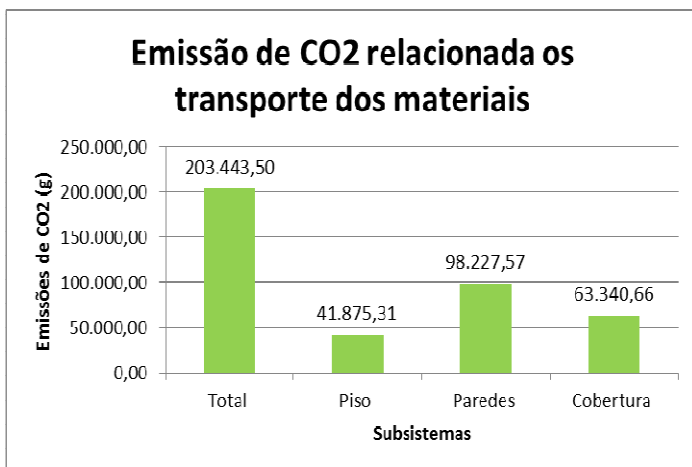


Figura 57: Emissão de CO₂, relacionadas ao transporte dos materiais.



Comparando as emissões totais geradas pelos transportes que foi de 203,43 kg, com a quantidade armazenada de CO₂ de 8.383,93 kg identificada no critério anterior, pode-se constatar um saldo de 8.180,50 kg de CO₂ armazenado pela HIS. Este saldo equivale aproximadamente à emissão de 40 casas construídas como Sistema Plataforma de madeira com as mesmas características da habitação em estudo.

Por fim, é importante mencionar que esta caracterização apresenta imprecisões relacionadas às variáveis de produtividade dos caminhões de cargas e aos índices adotados para consumo de energia. Assim, esta caracterização, pode ser aperfeiçoada com um estudo mais detalhado destas variáveis de produtividade, tais como, estado de conservação das rodovias e manutenção dos veículos utilizados, como também, a disponibilidade de índices específicos para a frota brasileira.

4.2.3 Emissão de resíduos perigosos

Neste critério são apresentadas as emissões de resíduos perigosos provenientes dos materiais de construção utilizados na HIS. Para isto, foram considerados os resíduos perigosos gerados nas etapas de processos de manufatura, montagem, uso e disposição final. Na Tabela 20 são apresentados individualmente os materiais utilizados nos subsistemas e suas caracterizações referentes aos resíduos perigosos gerados nas diferentes etapas dos seus ciclos de vida.

Tabela 20: Caracterização dos materiais dos subsistemas quanto à presença de resíduos perigosos.

Material	Subsistemas presentes	Resíduos perigosos	Etapas da emissão	Ingredientes que contribuem para o perigo
Madeira estrutura (tratada)	Piso, paredes e cobertura	sim	Manufatura e disposição final	Arseniato de cobre cromatado (CCA)
Madeira abertura (não tratada)	Paredes	não	-	-
Madeira OSB	Piso, paredes e cobertura	sim	Manufatura, uso e disposição final	Anticupim, resina fenólica e resina de MDI
Continua...				

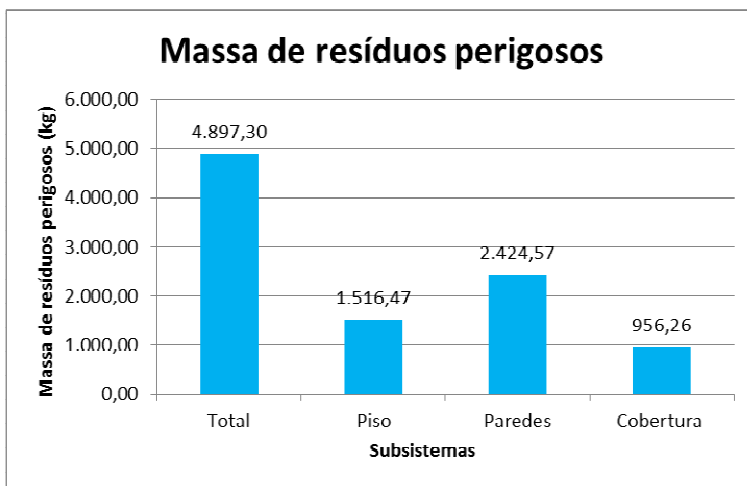
Material	Subsistemas presentes	Resíduos perigosos	Etapa da emissão	Ingredientes que contribuem para o perigo
Conclusão				
Gesso acartonado	Paredes e cobertura	não	-	-
Massa para tratamento de junta	Paredes e cobertura	não	-	-
Aço carbono	Piso, paredes e cobertura	sim	Manufatura	Escórias de aciaria e de alto forno (metais pesados) bifelinas policromadas (PCBs)
Aço galvanizado	Piso, paredes e cobertura	sim	Manufatura	Escórias de aciaria e de alto forno, metais pesados
Vidro plano	Paredes	não	-	-
Placa cerâmica esmaltada	Piso e parede	não	Não considerado	-
Rejunte para placa cerâmica	Piso e parede	-	-	-
Massa acrílica para acabamento	Piso e parede	-	-	-
Argamassa de assentamento AC II	Piso e parede	não	-	-
Membrana polietileno	Paredes e Cobertura	não	Não considerado	-
Tinta esmalte sintético	Parede	sim	Manufatura, montagem e uso	Metais pesados e compostos orgânicos voláteis (VOCs)
Emulsão asfáltica	Piso	não	Não considerado	-
Telha cerâmica	Cobertura	não	Não considerado	-

O valor total de emissões de resíduos perigos, considerado os tres subsistemas, foi de 4.897,30 kg. O subsistema paredes emitiu 2.424,57 kg, já os subsistemas piso e a cobertura, emitiram 1.516,47 kg e 956,26 kg de resíduos perigosos respectivamente, conforme mostra a Figura 58.

Os produtos de madeira foram os que mais elevaram os índices de emissões de resíduos perigosos nos subsistemas, contribuindo com 97% do valor total de emissões. As placas de OSB utilizam resinas fenólicas e metil difenil diisocianato (MDI) e também inseticidas (anticupim) que podem ser tóxicos para o meio ambiente e para os seres

humanos. Já as estruturas de madeira, utilizam para sua preservação, o arseniato de cobre cromatado (CCA) que são de alta toxicidade, pois no processo de tratamento pode haver vazamentos contaminando o solo e lençol freático e também, exposição dos trabalhadores ao CCA. Outro problema é a disposição final da madeira tratada, não podendo ser queimadas ou descartadas no meio ambiente, podendo apenas ser direcionadas para aterros de produtos tóxicos.

Figura 58: Emissão de resíduos perigosos.



O aço carbono e o aço galvanizado representam 2,50% das emissões totais, pois são responsáveis por emissões de resíduos perigosos na etapa de manufatura. Segundo Kuhn (2006), entre os resíduos perigosos, destacam-se os efluentes líquidos originados nos processos de coqueria, de alto forno e de sintetização. Porém o aço acabado após a fabricação é considerado um material inerte, não acarretando risco a saúde dos ocupantes na etapa de uso.

A tinta utilizada para acabamento estético e proteção contribuiu com 0,5% de todas as emissões dos subsistemas, pois geram efluentes tóxicos no processo de manufatura, na montagem (pintura) e na etapa de uso. As operações de lavagem de recipientes de cores diferentes necessitam da adição de substâncias como solventes, com isto, são gerados efluentes que contêm altas concentrações de solventes e sólidos suspensos que em contato com mananciais podem gerar impactos

ambientais significativos (YAMANAKA *et al.*, 2006). Nas etapas de montagem (pintura) e de uso, as tintas também apresentam risco à saúde humana, pois têm em sua composição os compostos orgânicos voláteis (VOCs) que são considerados poluentes perigosos, sendo alguns deles tóxicos e carcinogênicos, principalmente em ambientes fechados.

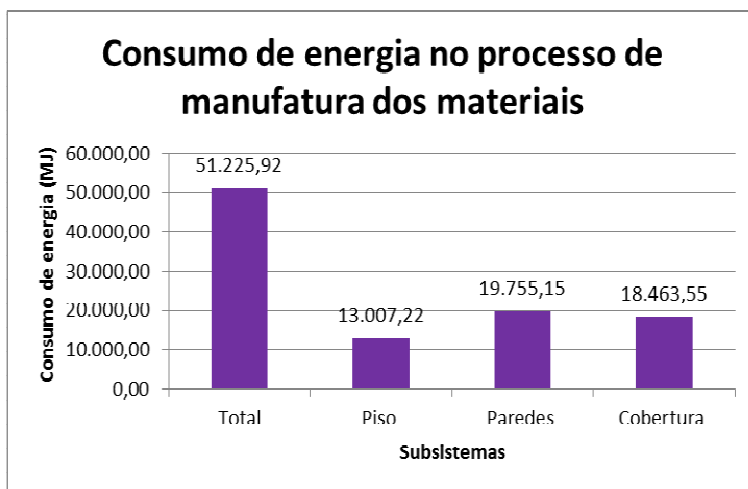
Os demais materiais não foram considerados emissores de resíduos perigosos, pois mesmo gerando resíduos tóxicos nos processos de manufatura são considerados inertes, não acarretando risco para saúde dos ocupantes na etapa de uso e não necessitando de aterros para produtos tóxicos para serem descartados no final de suas vidas úteis.

Por fim, é importante salientar que esta caracterização apresenta limitações, pois não foram feitas as diferenciações entre os tipos e as quantidades de resíduos emitidos e, também, pelas poucas informações fornecidas pelos fabricantes. A maior parte das informações foi obtida por meio de dados disponibilizados pelas FISPQ - Fichas de Informações e Segurança de Produtos Químicos, que em muitas vezes, não apresentaram todas as informações necessárias para as conclusões deste critério.

4.2.4 Consumo de energia no processo de manufatura

A caracterização do consumo de energia para processo de manufatura foi realizado a partir do produto dos índices energéticos dos diferentes materiais pelas suas respectivas massas. Os índices energéticos adotados foram os valores médios das indústrias obtidos nas entrevistas e, na falta destes dados foram adotados índices energéticos da literatura. Os mesmos estão apresentados na Tabela 15.

Os valores resultantes da caracterização apresentam um conteúdo de energia incorporada nos três subsistemas de 51.225,92 kg. A parede contribui com 39%, a cobertura com 36% e o piso com 25% do conteúdo energético total. Já os materiais que mais contribuíram para a energia incorporada nos subsistemas foram à placa de OSB, nos três subsistemas, a placa de gesso acartonado, na parede e na cobertura e a telha cerâmica, na cobertura. Na Figura 59 são apresentados os resultados da caracterização do consumo de energia no processo de manufatura dos materiais que compõem os subsistemas estudados.

Figura 59: Consumo de energia no processo de manufatura dos materiais.

A difícil obtenção de dados junto às indústrias entrevistadas foi um limitador para este critério, todos os materiais, com exceção da madeira para estrutura, foram retirados da literatura. Esta origem não apresenta a metodologia e o contexto que foram retirados, trazendo imprecisões e incertezas para esta caracterização. Os dados da madeira destinada para estrutura foram obtidos por meio de entrevistas e da aplicação de questionários em indústrias madeireiras do estado de Santa Catarina. Estes dados têm diferentes origens e completam diferentes etapas do processo da manufatura das mesmas, tais como serraria, secagem, beneficiamento e tratamento, assim para avaliação foi considerado um valor médio.

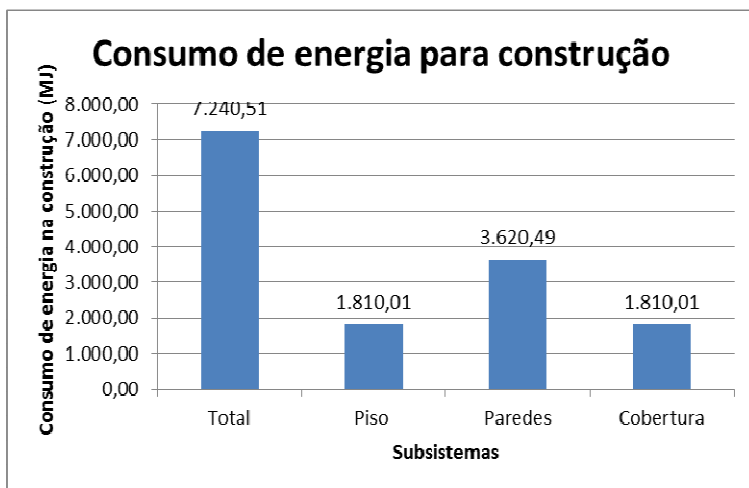
As quantificações dos gastos energéticos da madeira estrutural não contemplam a plantação, manutenção e corte das árvores de reflorestamento, não tendo assim, o ciclo completo da energia embutida do material. Porém a obtenção dos dados em campo, considerando a realidade local traz um conhecimento mais preciso para caracterização, pois a madeira estrutural representa 25% da massa total utilizada na HIS.

4.2.5 Consumo de energia na construção

Neste critério foi identificado o consumo de energia necessário para a construção dos subsistemas piso, paredes e cobertura da HIS. O

subsistema que mais consumiu energia na etapa da construção foi o subsistema das paredes, que representou 40% de toda a construção da edificação. Já o piso e a cobertura representaram ambos 20%. Os 20% restantes foram consumidos pelos subsistemas fundação e instalações elétricas e hidráulicas, que não foram incluídos na avaliação ambiental. O consumo de energia total para a construção dos 3 subsistemas foi de 7.240,51MJ, conforme Figura 60, que também apresenta a contribuição de cada subsistema.

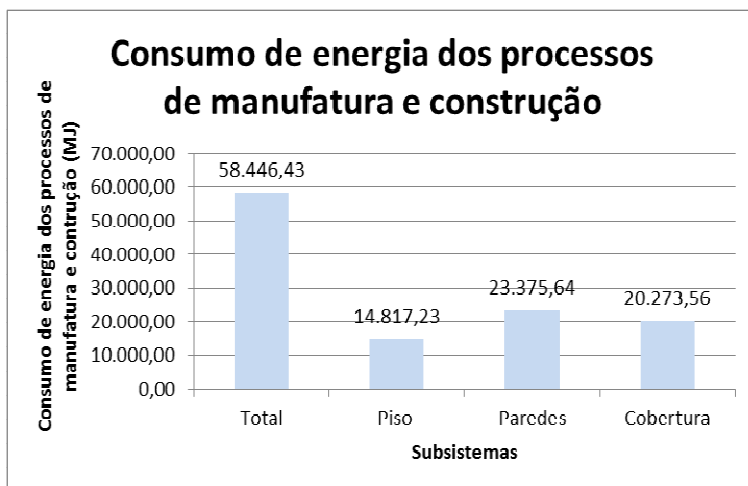
Figura 60: Consumo de energia para a construção dos subsistemas da HIS.



Porém a caracterização deste critério, por a HIS se tratar de um protótipo não construído, traz imprecisões atreladas as variáveis dos processos de construção. Também foi verificado nas entrevistas que as empresas construtoras não tinham o controle do consumo de energia para construção, principalmente quando dividido por subsistema.

Fazendo uma análise do conteúdo energético total dos subsistemas, considerando as duas etapas caracterizadas, manufatura e construção, é concluído que o consumo de energia do processo de manufatura representa 88 % do total de consumo de energia, enquanto o da construção corresponde aos 12% restantes. A Figura 61 apresenta o conteúdo energético incorporado nos subsistemas considerando as duas etapas.

Figura 61: Consumo de energia considerando os processos de manufatura e construção.



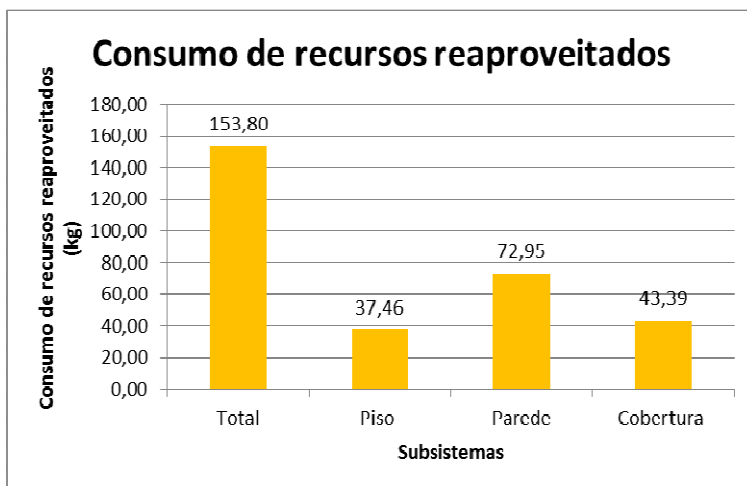
4.2.6 Consumo de recursos reaproveitados

Neste critério foi contabilizada a quantidade de recursos reaproveitados, em relação à de recursos novos incorporados nos materiais que compõem os subsistemas da HIS. Assim foram considerados materiais que sejam 100% reaproveitados, e também, os materiais que tenham em sua composição insumos reciclados, obtendo-se a massa de resíduos incorporados por meio de informações disponibilizadas pelas indústrias fabricantes no Apêndice 2.

Na Figura 62 são apresentados os resultados da caracterização do consumo de recursos reaproveitados nas composições dos materiais que compõem os subsistemas. As paredes contribuíram com 72,95 kg, a cobertura com 43,39 kg e o piso 37,46 kg, estas contribuições estão relacionadas diretamente com quantidade utilizada de aço e gesso acartonado nestes subsistemas.

A limitação deste critério está na diferenciação de cada tipo de insumo reaproveitado e suas consequências no meio ambiente, pois na grande parte dos materiais, as informações fornecidas pelos fabricantes apenas apresentam genericamente os insumos reaproveitados.

Figura 62: Consumo de recursos reaproveitados nos materiais que compõem os subsistemas.



A quantidade de materiais reaproveitados corresponde a 1.61% da massa total dos materiais empregados nos subsistemas, pois todos os materiais de madeira, incluindo as placas de OSB, que representam uma parte significativa da massa total, não utilizam nenhum insumo oriundo de reaproveitamento. Os materiais que mais contribuíram para este valor foram os aços carbono e galvanizado que reutilizam 70% de insumos provenientes de sucatas e, o gesso acartonado, que incorpora 5% do “filler”, que é o próprio insumo reaproveitado proveniente de devoluções e falhas no processo de fabricação.

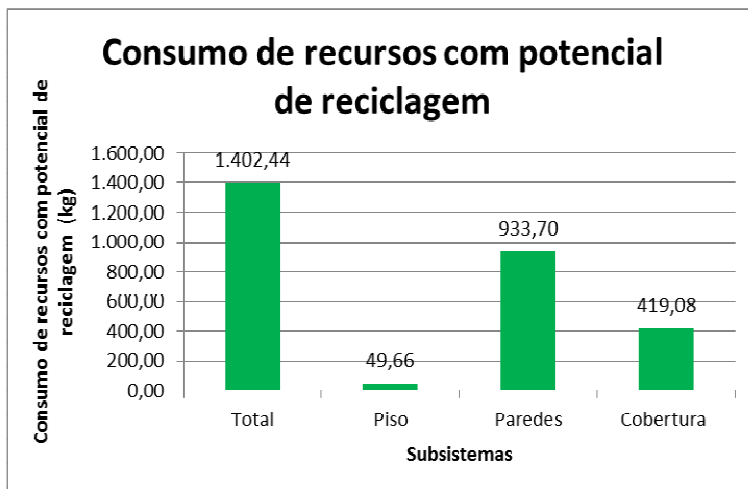
Também foram identificados que as argamassas utilizam aproximadamente 2% das sobras do processo industrial, porém esta parcela, não foi computada no consumo de recursos reaproveitados devido às imprecisões das informações obtidas.

4.2.7 Consumo de recursos com potencial de reciclagem

Neste critério foram identificados os materiais utilizados nos subsistemas da HIS que poderão ser reciclados no fim do ciclo de vida dos subsistemas. Para isto, pressupõe-se que ao fim do ciclo de vida, os subsistemas que compõem a HIS sejam submetidos a um processo de demolição seletiva. Na Figura 63, é apresentada a contribuição de cada

subsistema, e também, a massa total de recursos com potencial de reciclagem, somando os três subsistemas.

Figura 63: Consumo de recursos com potencial de reciclagem.



A caracterização foi feita identificando e quantificando os materiais que possuem potencial de reciclagem por meio de informações disponibilizadas pelas indústrias fabricantes no Apêndice 2. Porém após a identificação não foram computados os percentuais de perdas ocorridos durante o processo de demolição seletiva, provenientes de danificação e quebra de peças, trazendo assim, imprecisões para este critério.

Os materiais como as argamassas, os rejuntas, as massas para junta, as placas cerâmicas esmaltadas e a malha de aço do piso não foram considerados com potencial de reciclagem. Mesmo existindo processos de reciclagem de resíduos de construção e demolição (RCD) que possibilitam a reutilização destes materiais, ainda sim, é pouco utilizado na realidade Brasileira.

As telhas cerâmicas e as aberturas de madeiras (madeira sem tratamento) muitas vezes, dependendo do estado de preservação, são reutilizadas. Mas como as mesmas têm um potencial baixo de reciclagem, não foram consideradas como recursos com potencial de reciclagem. Também se levou em conta o pressuposto, que ao final do ciclo de vida, estes materiais não apresentarão um bom desempenho

devido ao processo de deterioração.

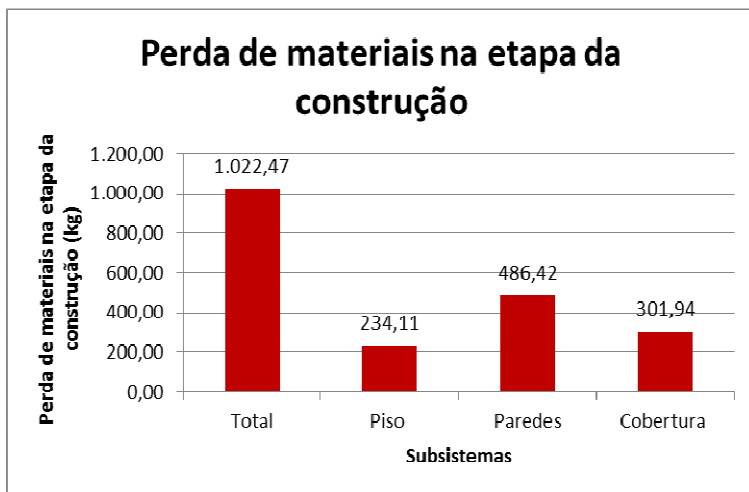
Os resultados da caracterização, considerando essas delimitações, indicam que 15,02% dos materiais utilizados nos subsistemas da HIS apresentam potencial de serem recicláveis. O material que mais contribuiu para este percentual foi o gesso acartonado, que representa 87,60% de todos os recursos reaproveitados. No Apêndice 3 são apresentados todos os materiais e seus potenciais de serem reciclados.

4.2.8 Perdas decorrentes do processo de construção

Esse critério identificou as perdas e a geração de resíduos na etapa da construção dos subsistemas utilizados na HIS. Porém como a habitação em estudo trata-se de um projeto que não foi construído, considerou-se um índice de perdas obtido no levantamento de dados.

Na Figura 64 é apresentada a massa total dos desperdícios ocorridos, como também, a de cada subsistema.

Figura 64: Perda de materiais na etapa da construção.



A massa total, considerando as perdas dos três subsistemas foi 10.356,58 kg, sendo 9,87% de resíduos gerados e não incorporados. O Subsistema das paredes foi o que mais apresentou desperdício, com

12,25%, seguido pelo o piso, com 10,02% e pela cobertura com 9,96%. Nas Tabelas 1 a 6 do Apêndice 3, estão apresentados todos os matérias que compõem os subsistemas com as porcentagens de suas respectivas perdas.

Por fim, é importante salientar, que como no critério de consumo de energia na etapa da construção, esta caracterização traz imprecisões intrínsecas atreladas as variáveis dos processos de construção, pois como já mencionado, os subsistemas da HIS não foram construídos.

4.3 PERFIL DE DESEMPENHO AMBIENTAL DOS SUBSISTEMAS

Neste item são apresentados os critérios em um perfil de desempenho que devido à sua interface gráfica facilita a visualização conjunta dos critérios avaliados. Este classifica o desempenho por critérios, como também, possibilita a definição de um indicador único classificando os subsistemas em uma das faixas de desempenho A, B, C, D ou E facilitando a tomada de decisão.

No perfil de desempenho da Figura 65 é apresentado o desempenho dos subsistemas piso, paredes e cobertura, calculado em função da área do piso de 46,50 m², porém a interpretação deve levar em consideração que os mesmos apresentam funções diferentes na HIS, trazendo restrição para comparação entre os mesmos.

Os três subsistemas apresentaram desempenho similar ficando com um índice total B. Os critérios que mais repercutiram positivamente, classificados no índice A, foram à quantidade de CO₂ armazenada, o consumo de energia no transporte, o consumo de energia para construção e as perdas na construção. Já as repercussões mais negativas, que obtiveram índice de desempenho E, foram o consumo de recursos aproveitados e o consumo de recursos com potencial de reciclagem.

Também foi feita a caracterização dos subsistemas considerando suas áreas de superfícies, o piso com 46,50 m², as paredes considerando as aberturas com 116,48 m² e cobertura com 65,52 m², considerando os beirais e superfícies inclinadas. Assim foi possível visualizar o desempenho de cada subsistema por m² de superfície e não pela área construída da HIS, conforme apresentado na figura anterior.

Mesmo com esta diferenciação de área os subsistemas mantiveram o desempenho com um índice total B, tendo as mesmas caracterizações com repercussões positivas e negativas, conforme apresentado na Figura 66.

Figura 65: Perfil de desempenho ambiental dos três subsistemas.

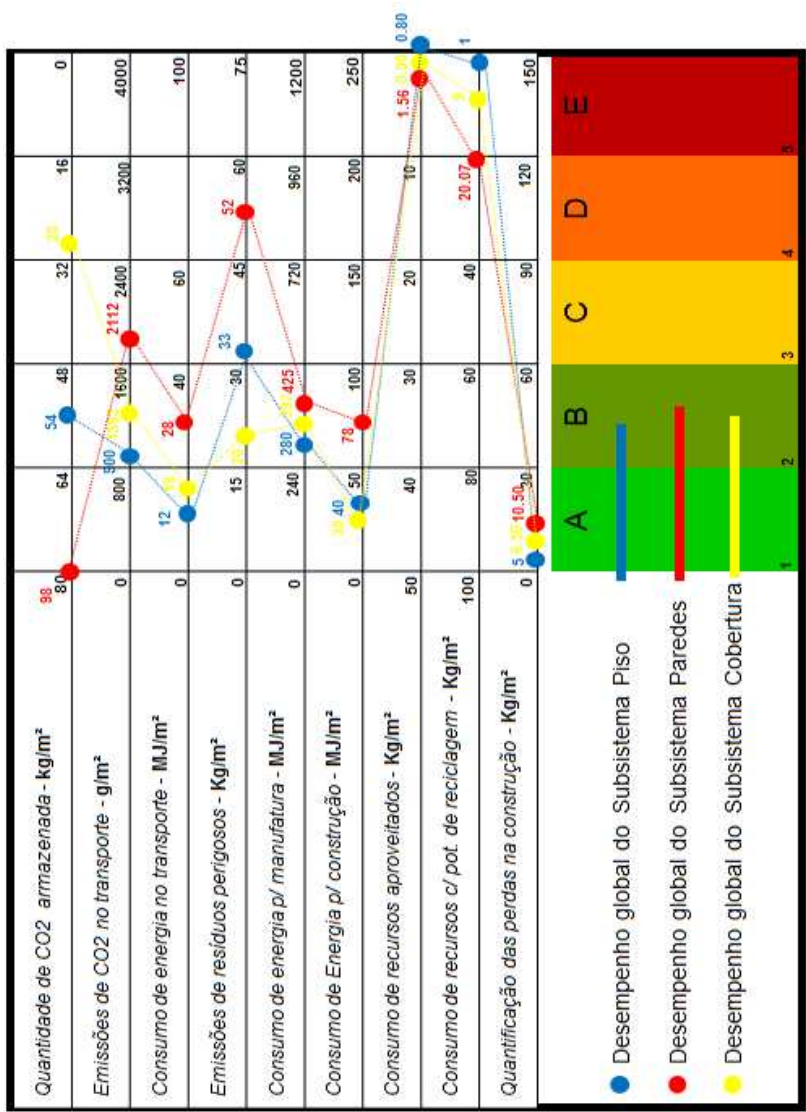
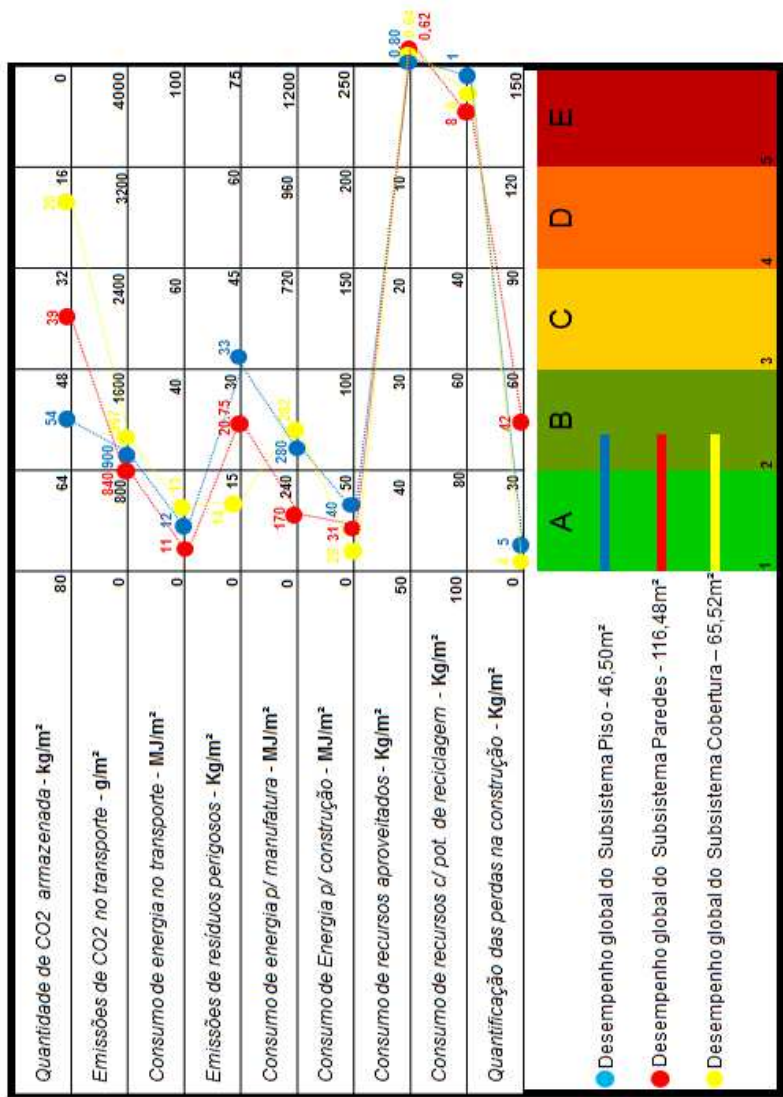


Figura 66: Perfil de desempenho ambiental considerando as áreas de superfícies dos subsistemas.



Os subsistemas piso, paredes e cobertura apresentaram diferentes resultados de desempenho na caracterização da quantidade de CO₂ armazenada, pois este critério está relacionado à massa da madeira utilizada em cada subsistema. Os subsistemas paredes e piso

apresentaram desempenhos A e B respectivamente, pois suas massas são predominantemente compostas de madeira. Porém na Figura 66, o subsistema parede apresenta um desempenho C, devido à presença de uma massa significativa do gesso acartonado. Já o subsistema cobertura foi o que obteve o menor desempenho, ficando com D, devido à sua maior massa ser procedente das telhas cerâmicas.

O consumo de energia e as emissões relacionadas ao transporte com desempenho A e B respectivamente, apontam para uma relação de distâncias sustentável, entre as indústrias fabricantes e a HIS. E também confirma o saldo de 8.180,50 kg de gás carbônico armazenado nos três subsistemas, o que é equivalente à emissão de 40 casas construídas como o Sistema Plataforma de madeira com as mesmas características da habitação em estudo.

As caracterizações relacionadas à etapa de construção mostram que o Sistema Plataforma de madeira tem repercussões positivas no “canteiro de obras”. Já a energia embutida considerando os processos de manufatura dos materiais, de transporte e de construção dos subsistemas da HIS, também apresenta um desempenho entre A e B apontado para um conteúdo energético satisfatório em seu ciclo de vida.

O valor total de emissões de resíduos perigos foi de 4.897,30 kg, mas mesmo com esta quantidade de emissões, os três subsistemas tiveram desempenhos B, considerando a área de 46,50 m².

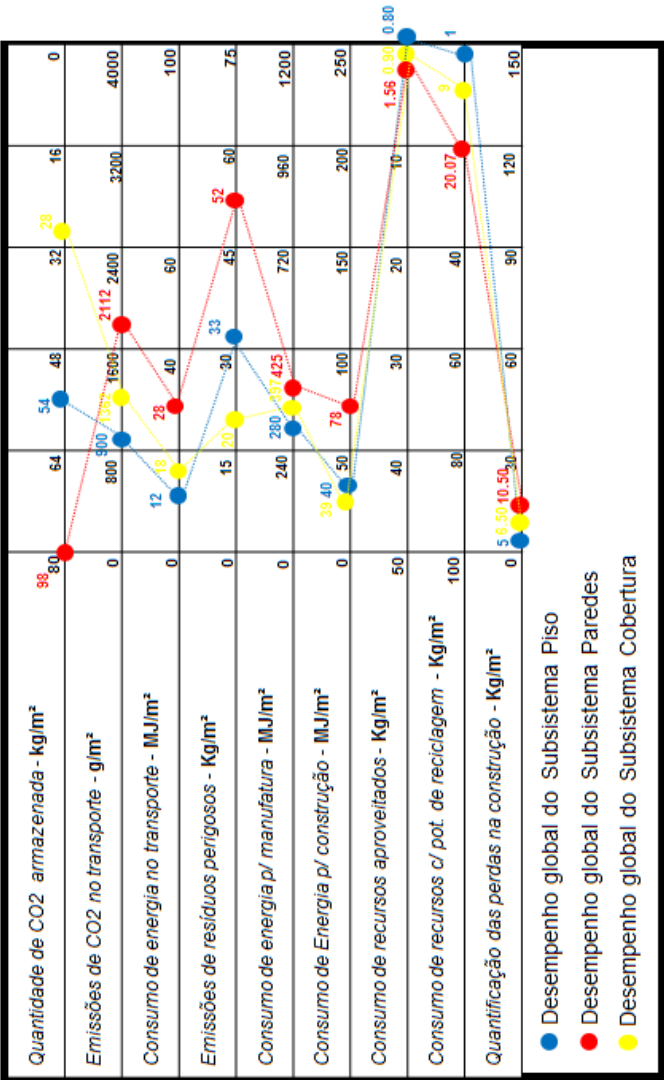
As caracterizações que tiveram repercussões negativas, com desempenho E, foram o consumo de recursos aproveitados e o consumo de recursos com potencial de reciclagem. O desempenho relativo ao consumo de recursos está relacionado ao fato da maior parte dos materiais usados nos subsistemas não serem de origem de reaproveitamento ou não terem nas suas composições insumos reaproveitáveis. O baixo desempenho relacionado ao consumo de recursos com potencial de reciclagem é devido ao uso de materiais como a madeira tratada e a Placa de OSB, que representam massas significativas dentro dos subsistemas e não podem ser reciclados na atual conjuntura nacional.

Por fim, a limitação encontrada nesta forma de apresentação é decorrente da introdução de subjetividade para a definição do indicador único. Segundo Oliveira (2005), a avaliação e a interpretação dos resultados são procedimentos críticos para métodos e sistemas de avaliação ambiental devido à introdução de subjetividade para a seleção de uma alternativa, frente às necessidades do usuário.

Levando em consideração esta limitação, é apresentado na Figura 67, um perfil de desempenho sem agregar os diversos critérios em um

indicador único, excluindo desta forma os fatores subjetivos para a ponderação dos critérios e possibilitando ao usuário a fazer suas próprias escolhas.

Figura 67: Perfil de desempenho ambiental sem um indicador único de desempenho.



4.4 COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO AMBIENTAL COM OUTROS SISTEMAS CONSTRUTIVOS

Para validação dos resultados da avaliação ambiental é proposto a seguir uma comparação do desempenho ambiental do subsistema paredes, utilizando diferentes tecnologias. Assim foram verificados os resultados obtidos com outras tecnologias e com outro trabalho que utilizou método similar, baseado em critérios ambientais.

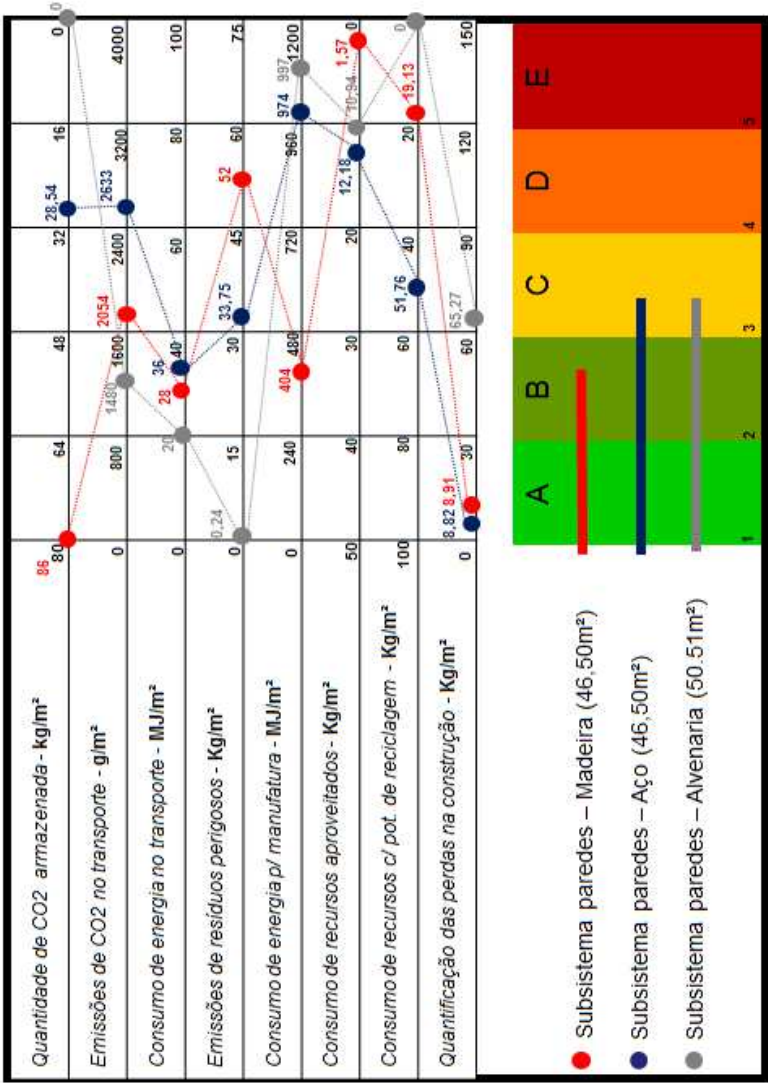
Para comparação, foi primeiramente, adaptado os quantitativos do subsistema paredes da HIS construída com o Sistema Plataforma de madeira para o Sistema Plataforma de aço (*light Steel framing*). Esta adaptação foi simples, pois o sistema em aço segue a mesma coordenação modular e utiliza praticamente os mesmos fechamentos do sistema plataforma de madeira. Assim foram substituídos os montantes de madeira por perfis de aço galvanizado conformado a frio, com seção 40 mm x 90 mm e espessura de 0,95 mm e, também foi substituído o *siding* de madeira, pelo *siding* de fibrocimento, que é o revestimento mais utilizado atualmente no mercado nacional para fechamento do sistema estrutural leve de aço.

O outro sistema construtivo analisado foi retirada da dissertação de Kuhn (2006). Trata-se do subsistema paredes de uma HIS construída com alvenaria de tijolos maciços, localizada na cidade de Nova Hartz, RS. Segundo Kuhn (2006), a HIS de 50,51 m² foi concebida para atender uma pequena família de baixa renda, tendo como espaços, dois dormitórios, sala e cozinha conjugadas, banheiro, área de serviço e área de acesso.

Na dissertação de Kuhn (2006) foi feita uma avaliação ambiental utilizando critérios qualitativos e quantitativos utilizando um método similar ao proposto neste trabalho. Porém foram feitas algumas modificações e adaptações nas caracterizações do subsistema de alvenaria em tijolos, para aproximar-se da avaliação ambiental dos subsistemas da HIS de madeira. Também foi excluído o critério relacionado ao consumo de energia na etapa da construção, pois o subsistema de alvenaria não apresenta esta caracterização ou dados para que a mesma seja feita. No Apêndice 5 estão apresentados os três subsistemas, os seus respectivos materiais e caracterizações considerando a área da superfície das paredes descontando-se os vãos das aberturas.

No desempenho global por m² de edificação, o subsistema de madeira ficou com B e os subsistemas de aço e alvenaria com C, conforme apresentado na Figura 68.

Figura 68: Perfil de desempenho ambiental dos subsistemas paredes considerando as áreas das edificações.



Na análise comparativa dos desempenhos dos sistemas construtivos, foi constatado que a quantidade de carbono armazenada no subsistema de madeira foi bem superior ao do subsistema de aço, já o subsistema de alvenaria não pontuou nesta caracterização por não conter materiais de madeira em sua composição.

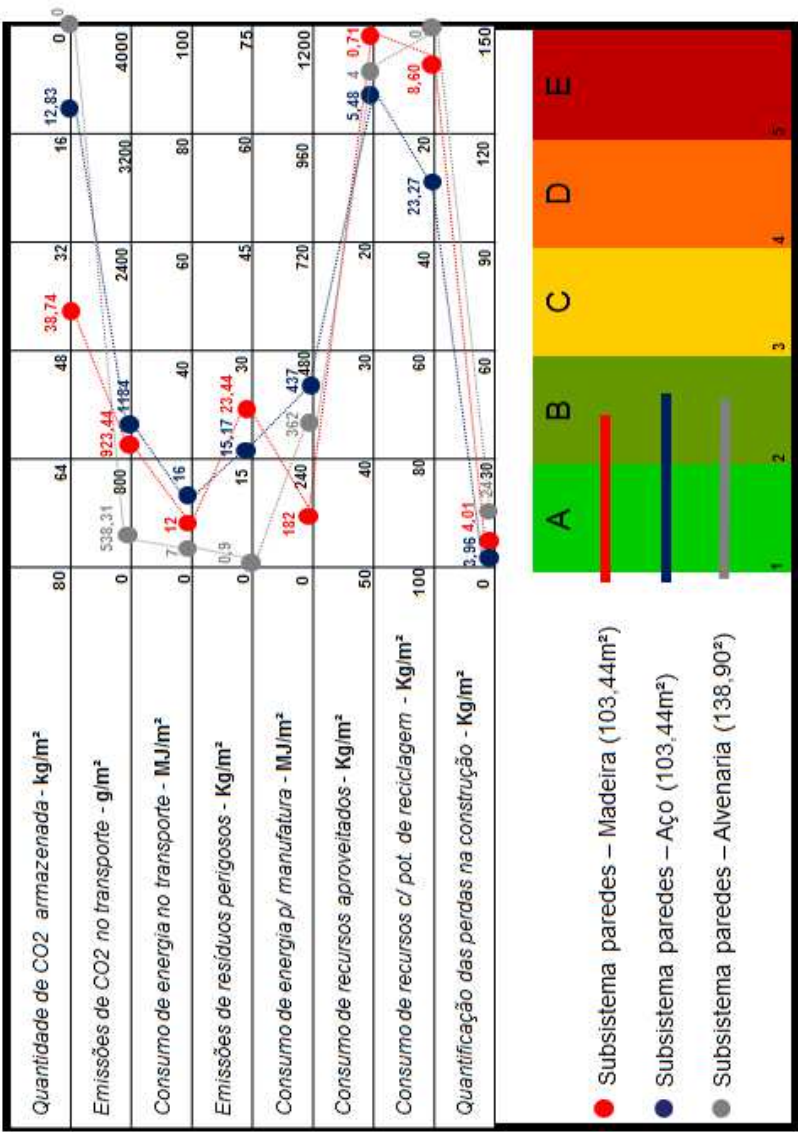
Nas caracterizações relacionadas ao transporte o subsistema de alvenaria obteve o melhor desempenho, porém é importante ressaltar, que estes critérios trazem imprecisões inerentes às localizações das HIS, que são diferentes. Já nas emissões de resíduos perigosos o mesmo também apresentou o melhor desempenho seguido pelo subsistema de aço, que tem em sua estrutura, o principal contribuinte para as emissões de resíduos perigosos. O subsistema madeira obteve o pior desempenho, devido principalmente, à utilização de madeira tratada com CCA em sua estrutura.

No consumo de energia no processo de manufatura o subsistema de madeira obteve o desempenho mais satisfatório, com 59% a menos que o subsistema de aço, uma diferença muito superior quando comparada ao estudo realizado por Perez-Garcia *et al.* (2005), que identificou um consumo energético 17% maior na residência com estrutura leve de aço. Porém nas caracterizações relacionadas ao aproveitamento de recursos e potencial de reciclagem, o subsistema de aço obteve desempenho superior ao subsistema de madeira.

Na geração de resíduos ocorridos no processo de construção os subsistemas industrializados obtiveram desempenho superior ao subsistema de alvenaria tradicional.

Com objetivo de trazer mais precisão para o comparativo entre os subsistemas, é apresentado um perfil de desempenho ambiental por área de superfície de parede, conforme Figura 69. Nesta forma de apresentação, diminuiu a diferença de desempenho entre os subsistemas, resultando desempenho global B para os três subsistemas paredes.

Figura 69: Perfil de desempenho ambiental considerando as áreas de superfícies dos subsistemas.



4.5 AVALIAÇÃO ECONÔMICA DA HIS

Neste item, é apresentada a avaliação econômica, objetivo secundário deste trabalho, considerando os custos da mão de obra, materiais e transporte. Os custos foram estimados a partir da aplicação de questionário com as indústrias fabricantes, e por meio de contatos telefônicos e eletrônicos (*e-mail*) com os fabricantes e lojas de materiais de construção.

Para esta etapa foram incluídos os subsistemas: fundação, piso, paredes, cobertura e instalações hidráulicas e elétrica, considerado praticamente todos os materiais com seus percentuais de desperdícios, com exceção da torre da caixa da água. No Apêndice 3 estão apresentados todos os materiais e seus respectivos preços, como também, o custo da mão de obra.

Na Tabela 21 estão apresentados os custos de cada subsistema. O valor total estimado para a construção da HIS foi de R\$ 40.446,82, sendo R\$ 27.851,82, de materiais, o que correspondente a 69% do valor total e R\$ 12.595,00 de mão de obra, corresponde a 31% do valor total da HIS.

Tabela 21: Preço total estimado da HIS.

Custo da HIS						
Subsistema	Preço material	%	Preço mão-de-obra	%	Preço por subsistema	%
Fundação	R\$ 1.137,47	4	R\$ 1.255,50	10	R\$ 2.392,97	7
Piso	R\$ 5.716,08	20	R\$ 2.511,00	20	R\$ 8.227,08	20
Paredes	R\$ 13.051,14	47	R\$ 5.022,00	40	R\$ 18.073,14	43,5
Cobertura	R\$ 3.817,86	14	R\$ 2.551,00	20	R\$ 6.368,86	17
Elétrica	R\$ 773,85	3	R\$ 627,75	5	R\$ 1.401,60	4
Hidrossanitária	R\$ 3.355,42	12	R\$ 627,75	5	R\$ 3.983,17	8,5
Total	R\$ 27.851,82		R\$ 12.595,00		R\$ 40.446,82	

O subsistema paredes apresentou o maior custo, totalizando R\$ 18.073,14, correspondendo a 43,5% do valor total da HIS. Os materiais que mais elevaram o custo deste subsistema foram os montantes tratados com CCA, as placas de OSB e as aberturas de madeira.

Segundo Brasil (2009), no Plano Nacional de Habitação “Minha casa, minha vida” os valores de imóveis, para as famílias com renda até três salários mínimos, são de aproximadamente de R\$ 40 mil para casas de 35 m², sendo que o valor da parcela fica entre 10% a 30% da renda,

respeitado o valor mínimo de R\$ 50,00, com um prazo de pagamento de até dez anos.

Considerando esta referência do programa “Minha casa minha vida”, o valor do metro quadrado fica com o valor de R\$ 1.142,85, já a HIS de 46,50m² ficou com um valor de R\$ 869,82/m², 23,89% mais baixo do que o indicado pelo Programa “Minha casa, minha vida”, levando em consideração as áreas.

Comparando o custo final por metro quadrado da HIS com o Custo Unitário Básico por metro quadrado (CUB/m²) para construções enquadradas na categoria “projeto de interesse social” foi constatado que o valor de R\$ 869,82/m² da HIS está 12,13% acima do valor apresentado pelo SINDUSCON da Grande Florianópolis no mês de Dezembro de 2012.

Nesta comparação também foi identificado que a HIS tem um valor de 38,81% maior no custo de material. Já a mão-de-obra, é 30% menor, conforme apresentado na Tabela 22.

Tabela 22: Preços da HIS x CUB.

Item	HIS	CUB	Diferença em %
Material	598,96	R\$ 366,53	38,81%
Mão-de-obra	270,86	R\$ 386,94	30%
Desp. Administrativa	-	R\$ 9,78	-
Equipamento	-	R\$ 1,39	-
Total	R\$ 869,82	R\$ 764,64	12,13%

Considerando estes valores, é constatado que o custo dos materiais para construção de uma habitação de interesse social com o Sistema Plataforma de madeira é superior à construção de alvenaria, porém com as vantagens em relação ao custo menor da mão de obra e da redução do tempo de construção.

5 CONCLUSÕES

Neste capítulo são apresentadas as conclusões deste trabalho. Porém devido ao atual estágio de avaliação ambiental no Brasil e as imprecisões encontradas no decorrer desta pesquisa, não é possível afirmar que as mesmas sejam definitivas.

A falta de um **método** no contexto nacional e a impossibilidade de aplicação da metodologia de análise de ciclo de vida, por falta de banco de dados, levou a definição de um método simplificado, baseado em critérios ambientais. Este método não é visto como o ideal, já que há uma tendência de utilização de métodos e ferramentas baseados em ACV com bancos de dados consistentes, trazendo assim, mais precisão para os resultados. Porém a escolha deste método simplificado mostrou-se uma alternativa viável para se chegar aos objetivos deste trabalho na atual conjuntura nacional.

Outra dificuldade encontrada nesta pesquisa foi à **obtenção de dados**, pois nas entrevistas feitas, muitos fabricantes não responderam completamente o questionário, por não terem os dados computados ou por sigilo industrial. Assim os questionários que não foram completados nas entrevistas, foram preenchidos com dados pesquisados na revisão bibliográfica. Estes dados, de diferentes origens, trazem limitações e imprecisões para algumas caracterizações, pois podem não representar com precisão a realidade local, objetivo que foi buscado neste estudo.

A primeira forma de **apresentação de resultados** apenas informou o comportamento dos subsistemas, juntos e individualmente, em relação a cada critério. Já na forma que utilizou o perfil de desempenho ambiental, foi possível visualizar os resultados das caracterizações de cada subsistema dentro das faixas de desempenho (A, B, C, D ou E), como também, obteve-se um indicador único para cada subsistema. Esta forma apresenta aspectos subjetivos e trazem imprecisões na definição das faixas de desempenho, pois a definição destas derivou de outros trabalhos que utilizaram estruturas e métodos diferentes. Assim foi apresentado um perfil de desempenho alternativo (Figura 67), sem faixas de desempenho, para que futuros usuários consigam fazer suas próprias escolhas e ponderações particulares.

Nos **resultados da avaliação ambiental** constatou-se que o desempenho global dos três subsistemas, tanto considerando área total

da HIS (46,50 m²) como a área de superfície de cada subsistema, foi B. Este resultado responde positivamente a pergunta desta pesquisa e confirma o resultado esperado, de que a habitação de madeira construída com o Sistema Plataforma é alternativa viável para o desenvolvimento mais sustentável (aspecto ambiental) do setor da construção civil no sul do país.

As **caracterizações** dos subsistemas da HIS que apresentaram resultados positivos (desempenho entre A e B) foram **emissões e consumo de energia nos transportes**, mostrando a importância da utilização de materiais locais para a diminuição dos impactos ambientais. **O consumo de energia na manufatura e na construção** aponta para um bom desempenho da HIS no que se refere aos gastos energéticos, e as **perdas na construção**, que foram de 9,87%, confirmando o bom desempenho do Sistema Plataforma na minimização de resíduos dentro do “canteiro de obras”.

A **quantidade de CO₂ armazenada** obteve uma classificação distribuída entre A e D. Mesmo assim, é possível afirmar que nesta caracterização os subsistemas tiveram um desempenho satisfatório. Pois os três subsistemas armazenaram juntos 8.383,00 kg de CO₂, o equivalente a uma média de emissões de um automóvel de passageiros durante 1 ano e 4 meses.

Os resultados negativos (abaixo do desempenho C) foram nas caracterizações de **emissões de resíduos perigosos, consumo de recursos com potencial de reciclagem e consumo de recursos reaproveitados**. Estas caracterizações negativas são decorrentes, principalmente, do uso de tratamento (CCA) na madeira, que emite resíduos perigosos e não possibilita que a mesma seja reaproveitada ou reciclada no final do seu ciclo de vida. Na caracterização de consumo de recursos reaproveitados, a madeira também contribui para este desempenho negativo, porém a mesma, de certa forma, não pode ser classificada nesta caracterização por ser um material que não incorpora insumos em sua manufatura, a não serem os componentes químicos. Mas este desempenho negativo é confirmado pelos outros materiais empregados nos subsistemas, que tem suas massas representativas, tais como as placas de OSB, as placas de gesso acartonado e as telhas cerâmicas que apresentam em suas composições, baixo ou nulo de insumos reaproveitados.

Na **comparação do desempenho ambiental** com outros sistemas construtivos (*light Steel framing* e alvenaria de tijolos) a parede da HIS de madeira apresentou o melhor desempenho quando considerado a área do piso das edificações, atingindo o desempenho B. Já os subsistemas

paredes de aço e alvenaria ficaram com desempenho C. E na comparação considerando a área de superfície das paredes, os três obtiveram desempenho B. Assim é possível afirmar, considerando todas as limitações já mencionadas neste estudo, que construir com o Sistema Plataforma de madeira (e com os outros dois sistemas construtivos analisados no item 4.4) é uma alternativa positiva para a sustentabilidade ambiental. Porém é recomendado à verificação desta afirmação, através de novas pesquisas, que avaliem e comparem estes subsistemas, como também, outros subsistemas utilizando as mesmas tecnologias construtivas.

Na **avaliação econômica** identificou-se um o valor de R\$ 869,82 por metro quadrado para construção da HIS de madeira, 23,89% mais baixo do que o indicado pelo Programa “Minha casa, minha vida”. Comparando este valor com o Custo Unitário Básico por metro quadrado (CUB/m²) para construções enquadradas na categoria “projeto de interesse social” é constatado que o mesmo fica 12,13% acima do valor apresentado pelo SINDUSCON da Grande Florianópolis no mês de Dezembro de 2012. Assim é possível afirmar que os custos para produção da HIS de madeira atendem os parâmetros econômicos do programa do governo federal, porém ainda estão acima dos custos regionais, sendo recomendado, que estes sejam revistos para a produção em grande escala.

Como a avaliação simplificada de custos traz limitações e imprecisões, é sugerido que se faça uma avaliação do custo de ciclo de vida das habitações de interesse social construídas com o Sistema Plataforma de madeira para real compreensão dos custos envolvidos.

5.1 RECOMENDAÇÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

Em vista de todos os aspectos apresentados e as limitações encontradas no decorrer desta pesquisa, são feitas as seguintes sugestões para trabalhos futuros:

- desenvolvimento de um método nacional para avaliação ambiental;
- verificação dos dados encontrados nesta pesquisa, por meio de novas avaliações ambientais em habitações construídas com o Sistema Plataforma;
- avaliação ambiental fazendo comparações com diferentes

tecnologias construtivas;

- avaliação de outros aspectos da sustentabilidade de uma HIS construída com o Sistema Plataforma de madeira;
- realizar um estudo para aperfeiçoamento do método utilizado nesta pesquisa;
- realizar um estudo que completa o ciclo de vida da HIS pesquisada;
- realizar uma avaliação do custo de ciclo de vida das habitações de interesse social construídas com o Sistema Plataforma de madeira.

REFERÊNCIAS

AMERICAN PLYWOOD ASSOCIATION. THE ENGINEERED WOOD ASSOCIATION. **The engineered wood construction guide**. Tacoma, WA, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004**. – Resíduos Sólidos: classificação. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 12.721**. Avaliação de custos unitários e preparo de orçamento de construção para a incorporação de edifícios em condomínio – Procedimento. Rio de Janeiro, 1999.

_____. **NBR ISO 14040**. Avaliação do Ciclo de Vida: princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR ISO 14041**. Avaliação do Ciclo de Vida: Definição de objetivo e escopo e análise do inventário. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR ISO 14042**. Avaliação do Ciclo de Vida: Avaliação do impacto do ciclo de vida. Rio de Janeiro, 2004b.

_____. **NBR ISO 14043**. Avaliação do Ciclo de Vida: Interpretação do ciclo de vida. Rio de Janeiro, 2005.

AWC - AMERICAN WOOD COUNCIL. **Details for conventional wood frame construction**. Washington: AWC, 2002.

_____. **Wood frame construction manual**. Washington: AWC, 2005.

BARBOSA, J. C.; INO, A. **Caracterização e avaliação do fluxo produtivo da habitação em madeira de plantios florestais segundo indicadores de sustentabilidade**: consumo de energia e resíduos gerados. 2003. Tese (Doutorado)- Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

BARBOSA, J. C.; INO, A.; SHIMBO I. **Sustainable indicators in the productive cycle of reforested wood housing**. 2000. Disponível em <<http://timber.ce.wsu.edu/Resources/papers/P26.pdf>> Acesso em 02 de Abr. 2013.

BENEVENTE, V. A. Diretrizes gerais para indicação de madeira preservada nas edificações em madeira ainda na fase de projeto. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E ESTRUTURAS DE MADEIRAS. **Anais**. Belo Horizonte: UFMG, 1995. p. 447 – 456.

BENOÎT, Y.; PARADIS, T. **Construction de maisons à ossature bois**. Centre Technique du Bois et de l'Ameublement (CTBA). Groupe Eyrolles. 2007.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução N° 237**, de 19 de janeiro de 1997. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em 10 de Nov 2011.

_____. **Cartilha do Plano Habitacional minha casa minha vida**. 2009. Disponível em <www.cidades.gov.br/...das.../minha_casa_minha_vida-1-1_-_CAIXA.pdf> Acesso em 28 de Janeiro 2011.

_____. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução N° 307**, de 5 de Julho de 2002. Disponível em <<http://WWW.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30702.html>> Acesso em 10 de Nov 2010.

_____. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução N° 357**, de 5 de Julho de 2002. Disponível em <<http://WWW.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res30702.pdf>> Acesso em 10 de Nov 2010.

BRAND, M. A. **Rendimento do processo produtivo e energético da matéria-prima de uma indústria de base florestal**. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)- Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

BUAINAIN, A. M.; BATALHA, M. O. **Cadeia produtiva de madeira**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA. Brasília,

2007.

BUDKE, R.; CARDOSO, R. J.; VALE, S.B. Resíduos de construção civil: classificação, normas e reciclagem. XXIV ENTMME - Salvador, **Anais...** 2011.

CALIL JUNIOR, C. *et al.* **Estrutura de madeira**: Cadernos de engenharia de estruturas. Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos (SP): EESC/USP, 2002. Disponível em <<http://www.set.eesc.usp.br/cadernos/pdf/cee18.pdf>.> Acesso em: 10 nov. 2011.

CAMPOS, R. **Diretrizes de projeto para produção de habitações térreas com estrutura tipo plataforma e fechamento com placas cimentícias**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia das Edificações e Saneamento)- Centro de Tecnologia e Urbanismo, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2006.

CANADIAN HOME BUILDERS ASSOCIATION (CHBA). **Builders. Manual**. Ottawa, Canadá: CHBA, 2001.

CANADIAN WOOD COUNCIL. **Energy and the Environment in Residential Construction**. Ottawa, Ontario, Canadá, 2004.

_____. **Framing techniques**. Ottawa: CWC, 1985. 24 p.

_____. **Introduction to Wood Building Technology**. Ottawa - Canada: Tri-Graphic Printing, 1997, 430p.

_____. **Sustainable Design And Wood: A Wood-frame Building Performance Fact Sheet**, 2003.

CARVALHO J. **Análise de ciclo de vida ambiental aplicada a construção civil: estudo de caso: comparação entre cimento Portland com adição de resíduos**. 2002. Dissertação (Mestrado)- Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

CAVALCANTE, M. S. Implantação e desenvolvimento da preservação de madeiras no Brasil. **Pesquisa e Desenvolvimento**. São Paulo, v. 14, p. 1-57, 1983.

CÉSAR, S. F. **Chapas de madeira para vedação vertical de edificações produzidas industrialmente**: projeto conceitual. 2002. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção)- Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

CÉSAR, S. F.; OLIVEIRA, R.; SZÜCZ, C. P. Chapas de vedação industrializada em madeira de reflorestamento para edificações. In ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E ESTRUTURAS DE MADEIRA. **Anais**. São Carlos: EBRAMEM 2000 p72.

COOPER, P. A. Leaching of CCA: Is it a problem? In: ENVIRONMENTAL CONSIDERATIONS IN THE MANUFACTURE, USE, AND DISPOSAL OF PRESERVATIVE-TREATED WOOD, 1993. Madison. **Proceedings**. Madison USA: Forest Product Society, 1993. P45-57.

SZÜCS, C. A.; *et al.* **Otimização da Industrialização do Sistema Construtivo Battistella – UFSC**. Relatório final. Projeto de Tecnologia de Habitação – Habitare. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina. 2007.

DIAS, G. L. **Estudo experimental de paredes estruturais de sistema leve em madeira (Sistema Plataforma) submetidas a força horizontal no seu plano**. 2005. Tese (Doutorado em Engenharia Civil)- Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

ESPÍNDOLA, L.R. **Habitação de interesse social em madeira conforme os princípios de coordenação modular e conectividade**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

FAGUNDES, H. A. V. **Produção de madeira serrada e geração de resíduos do processamento de madeira de florestas plantadas no Rio Grande do Sul**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

FERREIRA, J. V. R. **Análise do ciclo de vida dos produtos**. Instituto Politécnico de Viseu. 2004.

FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos). **Metodologias de avaliação de desempenho ambiental de edifícios: estado atual e discussão**

metodológica – documento 5 - habitação mais sustentável. São Paulo: FINEP, 2007.

FLORIANÓPOLIS, P. M. **Mapa 29 HI AIS Ingleses do Rio Vermelho.** Disponível em <http://www.pmf.sc/arquivos/pdf/20_04_2012_16.18.58e09d08824ac9556f90061df73cc05e8.pdf> . Acesso em 15 set. 2012.

FSC - CONSELHO BRASILEIRO DE MANEJO FLORESTAL.
Certificação - Princípios e Critérios:

OS 10 PRINCÍPIOS E CRITÉRIOS. 2005. Disponível em <<http://www.fsc.org.br>>. Acesso em: 10 Nov. 2011.

FOREST STEWARDSHIP COUNCIL UNITED STATES. Standards & policies. **FSC United States**, [S.l.], 2000.

FTP – TECHNOLOGY PLATFORM FOR THE FOREST-BASED SECTOR. **Tackle Climate Change: Use Wood.** 2007.

FUNTES, F. **Energia Contenida y energia ocupacional em viviendas de temuco.** Universidade de La Frontera – Chile, 2010. Disponível em <[http://ctt.ufro.cl/eebiblio/shared/tdt/Fuentes%20F%20\(2010\).pdf](http://ctt.ufro.cl/eebiblio/shared/tdt/Fuentes%20F%20(2010).pdf)>. Acesso em Set. 2012.

GALVÃO, A. P. M. **Aspectos da utilização da madeira de eucalipto no Brasil;** seu aproveitamento em serraria. Piracicaba: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, 1976. v. 4. 23p. [circular interna].

GERDAU. **Catálogo Aço para Construção Civil.** Porto Alegre, 2006 Disponível em: <http://www.comercialgerdau.com.br/produtos/download/catalogos/catalogo_aco_para_construcao_civil.pdf>. Acesso em: 11 de agosto 2012.

GERDAU. **Catálogo de Pregos.** Porto Alegre, 2006 Disponível em: <http://www.comercialgerdau.com.br/produtos/download/catalogos/catalogo_pregos.pdf> Acesso em: 11 de Agosto 2012.

GRIGOLETTI, G. C.; SATTTLER, M. A. Impactos ambientais associados a materiais de construção – Análise de ferramentas existente. In: NUTAU, 2002. São Paulo. **Anais.** São Paulo: NUTAU/USP, 2002.

GRAHAM, P. **The role of building environmental performance assessment in design**. Environmental Design Guide. Maio, 2000. Disponível em < <http://www.hku.hk/mech/cmhui/sbs/des33.pdf>>. Acesso em: 25 jan. 2011.

HIDALGO, F. J. H. **Estudio de la energia contenida y ocupación em viviendas estructuradas com paneles SIP**. Universidade de La Fronteira. Chile, 2010. . Disponível em <[http://ctt.ufro.cl/eebiblio/shared/tdt/Hidalgo%20F%20\(2011\).pdf](http://ctt.ufro.cl/eebiblio/shared/tdt/Hidalgo%20F%20(2011).pdf)>. Acesso em: set. 2012

HUNTER, L.M. **The Heathy home**. An attic-to-basement guide to toxin free living. New York: Pocket books, 1990. 313p.

IEA ANNEX 31-ENERGY-RALATED ENVIRONMENTAL IMPACT OF BUILDINGS. **Context and Methods for Tool Designers**. 2001a. Disponível em <http://www.iisbe.org/annex31/core_reports.htm> Acesso em: 7 nov 2011.

_____. **Decision Making Framework**. 2001b. Disponível: <http://www.iisbe.org/annex31/core_reports.htm> Acesso em: 7 Nov 2011.

_____. **Directory of tools**. 2001c. Disponível: <http://www.iisbe.org/annex31/core_reports.htm> Acesso em: 7 Nov 2011.

_____. **Type of tools**. 2001d. Disponível: <http://www.iisbe.org/annex31/core_reports.htm> Acesso em: 7 nov. 2011.

INO, A.; SHIMBO, I. **Habitação social em Madeira de reflorestamento como alternativa econômica para usos múltiplos da floresta**. São Carlos: USP, 1999.

INO, A. **Princípios básicos para garantir a durabilidade de uma construção em madeira**. In: WORKSHOP DURABILIDADE DAS CONSTRUÇÕES, 1997, São Leopoldo. Anais. São Leopoldo, [s.n.], 1997. v.1.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE.

Revised 1996 IPCC Guidelines for national Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual. Genova, 1996. Disponível em <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs6/html>>. Acesso em: 11 nov. 2010.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 14.040:** Environmental management: life cycle assessment and framework. Genebra. 1997.

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Madeira: uso sustentável na Construção Civil.** São Paulo: IPT: SVMA: Sinduscon-SP. São Paulo, 2003.

JANKOWSKY, I. P.; BARILLARI, C. T.; FREITAS, V. P. Tratamento preservativo da madeira de Pinus. In: Pinus – uma alternativa de mercado. **Revista da Madeira**, Curitiba, 2002. Edição especial, p. 110 – 116.

JOHN, V.M. Construção e desenvolvimento sustentável. **Revista Qualidade na Construção.** São Paulo, 2000. n.º.23, p.34-44.

JOHN, V.M. **Reciclagem de resíduos na construção civil:** contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento. Tese de Livre Docência - Escola Politécnica. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

JUNIOR, E. F. C. *et al.*. **Relatório do inventário de gases do efeito estufa(GEE) da produção de placas OSB da LP Brasil, Ponta Grossa, 2010.** Escritório Verde - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

JUNIOR, O.M.A; LINKE, R.R.A. **Metodologia simplificada do cálculo das emissões de gases de efeito estufa de frota de veículos no Brasil.** Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, São Paulo, 2003. Disponível em <http://www.ambiente.sp.gov.br/proclima/PDF/inventario_efeitoestufa.pdf> Acesso em: nov 2011.

KALBUSCH, A. **Critérios de avaliação de sustentabilidade ambiental dos sistemas prediais hidráulicos e sanitários em edifícios de escritórios.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

KUHN, E. A. **Avaliação da sustentabilidade ambiental do protótipo de habitação de interesse social alvorada**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2006.

LAROCA, C. A. **Habitação social em madeira: uma alternativa viável**. 2002. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)- Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

LP BUILDING PRODUCTS. **CES- Construção Energética Sustentável**. Catálogo de produtos. Curitiba, 2011.

MADEIRA AMBIENTE. **A madeira e a energia incorporada**. 2009. Disponível em <<http://madeirambiente.com.br/energia-incorporada-na-madeira/>> Acesso em: abr. 2013.

MATEUS, R. F. M. da S. **Novas tecnologias construtivas com vista à sustentabilidade da construção**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia)- Escola de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2004.

MEIRELLES, C.; *et al.* A viabilidade das construções leves em madeira no Brasil. VIII SEMINÁRIO INTERNACIONAL DOS LARES, **Anais...** São Paulo, 2008.

MORIGUCHI, Y. Recycling and waste management from the viewpoint of material flow accounting. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, v. 1, p.2-9, 1999.

MOURA, J. D. M.; BARNABÉ, M. F. Desenvolvimento de projeto de habitação de interesse social em madeira de reflorestamento. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE HABITAÇÃO SOCIAL. Ciência e tecnologia, 2003, Florianópolis. **Anais do I CTHab**, 2003.

MULLER, D. G. **Arquitetura Ecológica: 29 exemplos**. São Paulo, Parallaxe: 2005.

NORTH AMERICAN FOREST PRODUCTS INDUSTRY BY THE BC. **Tackle Climate Change – Use Wood**. 2009.

OLIVEIRA, D. P. **Contribuições para a avaliação ambiental de subsistemas de cobertura em habitações de interesse social**. 2005.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

PEREZ-GARCIA, J.; *et al.* The environmental performance of renewable building materials in the context of residential construction. **Wood and Fiber Science**. v. 37, n. 12, p. 3-17, 2005.

SÁNCHEZ, J. E.; *et al.* **Casas de madera**: los sistemas constructivos a base de madera aplicados a las viviendas unifamiliares. Madrid: Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de Madera y Corcho (AITIM), 1995.

SILVA, A. **Comportamento diafragma de paredes de madeira no sistema leve plataforma** 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2004.

SILVA, J. C.; OLIVEIRA, J. T. S. **Diagnóstico do setor moveleiro no Brasil**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2001.

SILVA, J. C. Eucalipto a madeira do futuro. **Revista da Madeira**, especial Eucalipto, Curitiba. 2001.

SILVA, S. R.; SHIMBO, I. A identificação de interfaces entre os conceitos de desenvolvimento Sustentável e os assentamentos habitacionais urbanos. In: RIGATTI, Décio (org.) **ANPUR – VIII Encontro Nacional**. Porto Alegre: PROPUR/UFRGS, 1999.

SILVA, V. G. **Avaliação da sustentabilidade de edifícios de escritórios brasileiros: diretrizes e base metodológica**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil)- Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

SILVA, V. G.; SILVA, M. G.; AGOPYAN, V. Avaliação de edifícios no Brasil: da avaliação ambiental para avaliação de sustentabilidade. **Ambiente Construído**. Porto Alegre, v. 3, n. 3, p. 7-18, jul./set. 2003.

SPERB, M. R. **Avaliação de tipologias habitacionais a partir da caracterização de impactos ambientais relacionados a materiais de construção**. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto

Alegre, 2000.

SOARES, R. S; SOUZA, D. M.; PEREIRA, S. W. **A avaliação do ciclo de vida no contexto da construção Civil**. 2006. Disponível em <http://habitare.infohab.org.br/ArquivosConteudo/ct_7_cap4.pdf> Acesso em: 24 jan. de 2012.

STUMPP, E.; *et al.* **Avaliação de sustentabilidade e eficácia de tratamentos preservantes naturais de madeiras de florestas plantadas no RS para o controle do cupim**. Ambiente Construído, Porto Alegre, 2005.

SZÜCS, C. A.; *et al.* **Otimização da industrialização do sistema construtivo Battistella - UFSC**. Universidade Federal de Santa Catarina. Relatório final. Projeto de Tecnologia de Habitação – Habitare. Florianópolis, 2007.

TANIGUTI, E. K. **Método construtivo de vedação vertical interna de chapas de gesso acartonado**. 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

TAVARES, S. F. **Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras**. 2006. Tese (Doutorado em Engenharia Civil)- Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

TAVARES S. F.; GRAF H. F; **Energia Incorporada dos materiais de uma edificação padrão brasileira residencial**. Curitiba: UFPR, 2010.

TAVARES, S. F; LAMBERTS, R. Consumo de energia para construção, operação e manutenção das edificações residenciais no Brasil. In: VIII ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, ENCAC 2005. **Anais...** Maceió, AL. Outubro de 2005.

THALLON, R. **Graphic guide to frame construction: details for builders and designers**. 7. ed. Newtown: The Taunton Press, 2000.

TOMASELLI, I. **Secagem de Madeira**. Embrapa florestas. Curitiba: FUPEF, 1980.

WEBER Saint-Gobain. **Guia Weber 2012**. São Paulo: Weber, 2012.

WEINMANN. **Produzindo casas de madeira de forma racional, econômica e adequada ao mercado**. Catalogo - Curitiba, 2012.

WILSON, A. Disposal: the Achilles' heel of CCA – Treated wood.? **Environmental Building News**, Brattleboro, Mar, 1997. Disponível em: <http://www.buildinggreen.com/features/tw/treated_wood.htm>. Acesso em: 16 de nov. de 2010.

YAMANAKA, H. T.; *et al.* **Tintas e Vernizes: guia técnico ambiental**. São Paulo: CETESB, 2006. Disponível em <:<http://www.abradati.com.br/bnews3/imagens/multimídia/Documentos/sbd.pdf>> Acesso em: 17 de nov. de 2012.

YUBA, A. N. **Cadeia produtiva de madeira serrada de eucalipto para produção sustentável de habitações**. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

ZENID, G. J. Quantificação de produtos de madeira para a construção civil. In: SEMINÁRIO DE INDUSTRIALIZAÇÃO E USOS DE MADEIRA DE REFLORESTAMENTO, Caxias do Sul. **Anais...** Caxias do Sul: SINDIMADEIRA, 2001.p. 61-76.

ZORDAN, S. E. **Entulho da indústria da construção Civil: reciclagem de resíduos como materiais para a construção - reciclar para construir** (Artigos técnicos: Fichas de Resíduos). São Paulo: PCC-USP, 2005. Disponível em <http://www.reciclagem.pcc.usp.br/entulho_ind_ccivil.htm> Acesso em: 10 nov. 2011.

APÊNDICES

Apêndice 1 - Formulário para obtenção de dados na etapa de construção

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA				
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil				
FORMULÁRIO PARA OBTENÇÃO DE DADOS NA ETAPA DE CONSTRUÇÃO				
Campo - 1				
Entrevistado:		Função:		
Empresa:		Data:		
Poderá ser citada a fonte no trabalho:		() Sim	() Não	
Campo - 2				
Método de montagem:	() Artesanal	() Semi-industrializado	() Industrializado	
Consumo de energia para construção por m²:		Unidade:		
Consumo de energia por subsistema:	Fundação:		%	
	Piso (Plataforma):		%	
	Paredes:		%	
	Cobertura:		%	
	Hidrossanitário:		%	
	Elétrico:		%	
Campo - 3				
Desperdício global:		m³ por m²		%
Desperdício por subsistema:	Fundação:			%
	Piso (Plataforma):			%
	Paredes:			%
	Cobertura:			%
	Hidrossanitário:			%
	Elétrico:			%
Campo - 4				
Tempo de construção por m²:			dias	
Campo - 5				
Custo da mão de obra por subsistema:		m²		%
Fundação:		m²		%
Piso (Plataforma):		m²		%
Paredes:		m²		%
Cobertura:		m²		%
Hidrossanitário:		m²		%
Elétrico:		m²		%
Campo - 6				
Principais ferramentas e equipamentos utilizados:				
Observações:				

Apêndice 2 - Formulário para obtenção de dados dos materiais de construção

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA			
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil			
FORMULÁRIO PARA OBTENÇÃO DE DADOS DOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO			
Campo - 1			
Entrevistado:		Função:	
Empresa:		Data	
Poderá ser citada a fonte no trabalho:	() Sim	() Não	
Material (produto):			
Campo - 2			
Consumo de energia para processo de manufatura:			(MJ/m ²)
			(MJ/Kg)
			(kWh/m ²)
	Outra unidade:		
Campo - 3			
Composição do material (produto):	Material	Quantidade	Percentual
			%
			%
			%
Campo - 4			
Emite resíduos perigosos? (Conforme NBR 10.004, 2004)	() Sim	Qual etapa?	
	() Não	Quais?	
Inflamável:	Corrosivo (Ph):	Reativo:	
Campo - 5			
Na composição há material reciclado (resíduo)?	Quantidade		Percentual
			%
	Material	Quantidade	%
			%
			%
			%
Campo - 6			
O material poderá ser reciclado?	() Sim	() Não	
Percentual reciclado (%)		-	
É inserido novamente no processo de fabricação?	() Sim	() Não	
Percentual inserido (%)		-	
Qual o destino?	-		
Campo - 7			
Local de Produção (cidade):			
Massa:		Kg/m ³	
Custo por m ²	R\$		
Observações			

Apêndice 3 - Tabelas dos quantitativos dos subsistemas.

Tabela 1: Quantitativo do subsistema fundação.

SUBSISTEMA FUNDAÇÃO ¹ – 46,50 M²											
Material	Quantidade		Massa (kg)	Não reutilizado (kg)	Reutilizado (kg)	Perda² estimada	Potencial de reaproveitamento (kg)		Procedência / km		Custo ² Material
Blocos de concreto estrutural (19 cm x 19 cm x 39 cm)	158	un.	2.370,00	-	-	-	-	-	-	-	R\$ 344,44
Blocos canaleta de concreto (19 cm x 19 cm x 39 cm)	24	un.	384,00	-	-	-	-	-	-	-	R\$ 62,64
Cimento Portland CP IV-32 (50 kg)	20	un.	1.000,00	-	-	-	-	-	-	-	R\$ 21,90
Areia tipo média	1.2	m³	720,00	-	-	-	-	-	-	-	R\$ 62,16
Pedra britada	0.61	m³	297,00	-	-	-	-	-	-	-	R\$ 36,58
Aço – CA-50 (5 mm x 12m)	15	un.	28,00	-	-	-	-	-	-	-	R\$ 122,25
Aço - CA-60 (8 mm x 12m)	14	un.	66,50	-	-	-	-	-	-	-	R\$ 264,60
Emulsão asfáltica (imper.)	9	kg	9,00	-	-	-	-	-	-	-	R\$ 99,90
Tábua de pinus (30 cm x 3 m) (forma)	18	un.	198,00	-	-	-	-	-	-	-	R\$ 123,00
											R\$ 1.137,47
											Custo M-O
											R\$ 1.255,50
TOTAL			5.072,50	-	-	-	-	-	-	-	R\$ 2392,97

¹ O subsistema fundação não foi avaliado ambientalmente;

² Consulta dos preços dos materiais: Data base: Julho de 2012.

Tabela 2: Quantitativo do subsistema piso.

SUBSISTEMA PISO – 46,50 M²												
Material		Quantidade		Massa (kg)	Não reutilizado (kg)	Reutilizado (kg)	Perda estimada	Potencial de reaproveitamento (kg)		Procedência / km²		Custo ¹ Material
Soleira 5 cm × 15 cm		27,20 m	m	85,68	94,76	-	10,6%	0%	0	Curitibanos - SC	304	R\$ 175,00
Vigas I suporte	banzo 3 cm × 6 cm	51,20	m	38,70	42,80	-	10,6%	0%	0	Curitibanos - SC	304	R\$ 80,50
	alma OSB 18,3 mm × 20cm	12,80	m	29,95	33,12	-	10,6%	0%	0	Ponta Grossa - PR	458	R\$ 77,23
Vigas I piso	banzo 3cm × 6cm	486,00	m	367,42	406,36	-	10,6%	0%	0	Curitibanos - SC	304	R\$ 761,25
	alma OSB 18,3 mm × 20cm	121,50	m	284,00	314,10	-	10,6%	0%	0	Ponta Grossa - PR	458	R\$ 733,13
Fecham. lateral OSB 15,5mm × 20cm		27,20	m	52,51	58,07	-	10,6%	0%	0	Ponta Grossa - PR	458	R\$ 131,32
Enrijecedores 5 cm × 7 cm		17,34	m	25,49	28,03	-	10,6%	0%	0	Curitibanos - SC	304	R\$ 53,10
Chapa OSB piso 15,5 mm		46,50	m²	448,85	485,70	-	8,21%	0%	0	Ponta Grossa - PR	458	R\$ 1.122,51
Malha de aço (Ø 3,4 x 20 x 20 cm)		54	m²	38,70	12,77	29,80	10%	0%	0	Sapucaia do Sul - RS	532	R\$ 553,04
Chumbadores (Ø 12 mm x 14 mm)		6	un	0,94	0,28	0,66	0,1%	100%	0,94	Joinville-SC	207	R\$ 16,50
Pregos anelados (Ø 3,8 mm × 76,2 mm)		50,00	un	0,32	0,10	0,22	0,1%	100%	0,32	Sapucaia do Sul - RS	532	R\$ 0,39
Console metálico para viga de madeira		4	pç	0,22	0,07	0,15	0,1	100%	0,22	São Paulo - SP	724	R\$ 2,32
Parafuso rosca soberba (Ø 6,35 mm x 44,45 mm)		48	pç	5,43	1,63	3,80	0,1	100%	5,43	Joinville-SC	207	R\$ 8,78
												Continua...

SUBSISTEMA PISO – 46,50 M²											
Material	Quantidade		Massa (kg)	Não reutilizado (kg)	Reutilizado (kg)	Perda estimada	Potencial de reaproveitamento (kg)		Procedência / km²		Custo ¹ Material
Conclusão											
Pregos anelados (Ø = 2,7 mm × 70 mm)	1.344,00	un	4,05	1,22	2,83	0,1%	100%	4,05	Sapucaia do Sul - RS	532	R\$ 96,05
Argamassa adesiva	228,00	kg	228	255,36	-	12%	0%	0	Tubarão - SC	168	R\$ 718,20
Emulsão betuminosa de impermeabilização ³	69,75	kg	69,75	76,72	-	10%	0%	0	São Paulo - SP	724	R\$ 774,22
Placa cerâmica esmaltada (20 x 20 cm)	1.147,00	pç	641,70	705,87	-	10%	0%	0	Tijucas - SC	84	R\$ 1.278,75
Rejunte para placa cerâmica ³	13,95	kg	13,95	15,34	-	12%	0%	0	Tubarão - SC	168	R\$ 18,69
											R\$ 5.716,08
											Custo M-O
											R\$ 2.511,00
TOTAL			2.334,66	2.532,30	37,46	-	-	10,96	-	-	R\$ 8.227,08

¹ Consulta dos preços dos materiais: Data base: Julho de 2012;

² Distâncias retiradas do site: <http://www.aondefica.com> ;

³ Não foi avaliado energeticamente por falta de dados na literatura e pesquisa.

SUBSISTEMA PAREDES – 116,48 m²												
Material	Quantidade		Massa (kg)	Não reutilizado (kg)	Reutiliza-do (kg)	Perda estimada	Potencial de reaproveita-mento (kg)			Procedência / km²		Custo ¹ Material
Meio painel fechado (60 cm)	5	un	211,37	227,64	6,40	-	-	82,07	-	-	R\$ 576,49	
Montante 4 cm × 9 cm	40,75	m	61,61	68,14	-	10,6%	0%	0	Curitibanos-SC	304	R\$ 128,36	
Travessa 4 cm × 9 cm	6	m	9,07	10,03	-	10,6%	0%	0	Curitibanos-SC	304	R\$ 18,90	
Chapa OSB parede 11,1 mm x 119,7 cm × 271,7 cm	5	un	59,72	63,90	-	7%	0%	0	Ponta Grossa - PR	458	R\$ 337,18	
Gesso acartonado 12,5 mm x 59,7 cm × 271,7 cm	5	un	71,40	74,61	3,93	10%	100%	78,54	Mogi das Cruzes - SP	799	R\$ 76,86	
Massa para tratamento de junta³	8,84	kg	8,84	9,90	-	12%	0%	0	Mogi das Cruzes - SP	799	R\$ 3,86	
Pregos anelados (ø 4,4 mm × 89,7 mm)	10	un	0,12	0,04	0,08	0,1%	100%	0,12	Sapucaia do Sul - RS	532	R\$ 0,75	
Pregos anelados (ø 3,8 mm × 76,2 mm)	60	un	0,38	0,11	0,27	0,1%	100%	0,38	Sapucaia do Sul - RS	532	R\$ 3,78	
Pregos anelados (ø 2,7 mm × 30 mm)	158	un	0,23	0,07	0,16	0,1%	100%	0,23	Sapucaia do Sul - RS	532	R\$ 4,72	
Parafuso drywall (ø 3,5 mm x 32 mm)	160	un	2,80	0,84	1,96	0,1%	100%	2,80	Joinville - SC	207	R\$ 2,08	
Meio painel janela (60 cm)	1	un	53,15	57,31	1,27	-	-	1,51	-	-	R\$ 357,94	
Montante 4 cm × 9cm	11,87	m	17,94	19,84	-	10,6%	0%	0	Curitibanos-SC	304	R\$ 37,40	
Travessa 4 cm × 9 cm	1,20	m	1,81	2,00	-	10,6%	0%	0	Curitibanos-SC	304	R\$ 3,78	
Verga 4 cm × 9 cm	0,52	m	0,79	0,87	-	10,6%	0%	0	Curitibanos-SC	304	R\$ 1,64	
Continua...												

Continua...

SUBSISTEMA PAREDES – 116,48 m²											
Material	Quantidade		Massa (kg)	Não reutilizado (kg)	Reutiliza- do (kg)	Perda estimada	Potencial de reaproveita- mento (kg)		Procedência / km²		Custo ¹ Material
Continuação											
Contra-verga 4 cm × 9 cm	0,44	m	0,66	0,72	-	10,6%	0%	0	Curitibanos- SC	304	R\$ 1,38
Chapa OSB parede 11,1 mm x 119,7 cm × 271,7 cm	1	un	11,10	12,65	-	14 %	0%	0	Ponta Grossa - PR	458	R\$ 67,43
Gesso acartonado 12,5 mm x 59,7 cm × 271,7 cm	1	un	13,28	13,57	0,71	7%	100%	14,28	Mogi das Cruzes - SP	799	R\$ 13,17
Massa para tratamento de junta³	1,68	kg	1,68	1,88	-	12%	0%	0	Mogi das Cruzes - SP	799	R\$ 3,86
Janela madeira basculante 40 cm × 60 cm	1	un	3,84	4,03	-	5%	0%	0	Palhoça - SC		R\$ 202,50
Vidro plano 8 mm	0,19	m²	1,42	1,49	-	5%	0%	0	São Paulo - SP	724	22,80
Pregos anelados (ø 4,4 mm × 89,7 mm)	2	un	0,02	0,01	0,01	0,1%	100%	0,02	Sapucaia do Sul - RS	532	R\$ 0,15
Pregos anelados (ø 3,8 mm × 76,2 mm)	38	un	0,19	0,06	0,13	0,1%	100%	0,19	Sapucaia do Sul - RS	532	R\$ 2,39
Pregos anelados (ø 2,7 mm × 30 mm)	34	un	0,05	0,02	0,03	0,1%	100%	0,05	Sapucaia do Sul - RS	532	R\$ 1,02
Parafuso drywall (ø 3,5 mm x 32 mm)	32	un	0,56	0,17	0,39	0,1%	100%	0,56	Joinville - SC	207	R\$ 0,42
Painel fechado (120 cm)	3	un	228,21	242,36	6,27	-	-	94,10	-	-	R\$ 440,67
Montante 4 cm × 9 cm	32,61	m	49,30	54,52	-	10,6%	0%	0	Curitibanos- SC	304	R\$ 102,72
Travessa 4 cm × 9 cm	7,20	m	10,89	12,04	-	10,6%	0%	0	Curitibanos- SC	304	R\$ 22,68
Chapa OSB parede 11,1 mm x 119,7 cm × 271,7 cm	3	un	71,67	76,68	-	7%	0%	0	Ponta Grossa - PR	458	R\$ 202,30
Continua...											

Continua...

SUBSISTEMA PAREDES – 116,48 m²											
Material	Quantidade		Massa (kg)	Não reutilizado (kg)	Reutiliza- do (kg)	Perda estimada	Potencial de reaproveita- mento (kg)		Procedência / km²		Custo ¹ Material
Continuação											
Janela madeira 94 cm × 104 cm duas folhas abrir	3	un	46,56	48,88	-	5%	0%	0	Palhoça - SC	51	R\$ 1.964,25
Vidro Plano 8 mm	2,58	m²	25,68	26,96	-	5%	0%	0	São Paulo - SP	724	R\$ 309,60
Pregos anelados (ø 4,4 mm × 89,7 mm)	9	un	0,10	0,03	0,07	0,1%	100%	0,10	Sapucaia do Sul - RS	532	R\$ 0,67
Pregos anelados (ø 3,8 mm × 76,2 mm)	126	un	0,79	0,24	0,55	0,1%	100%	0,79	Sapucaia do Sul - RS	532	R\$ 7,94
Pregos anelados (ø 2,7 mm × 30 mm)	140	un	0,20	0,06	0,14	0,1%	100%	0,20	Sapucaia do Sul - RS	532	R\$ 4,20
Parafuso drywall (ø 3,5 mm x 32 mm)	138	un	2,40	0,72	1,68	0,1%	100%	2,40	Joinville - SC	207	R\$ 17,25
Painel porta (120 cm)	5	un	435,20	518,77	10,15	-	-	117,80	-	-	R\$ 1.826,93
Montante 4 cm × 9 cm	81,10	m	122,62	135,61	-	10,6%	0%	0	Curitibanos- SC	304	R\$ 255,46
Travessa 4 cm × 9 cm	12,70	m	19,20	21,23	-	10,6%	0%	0	Curitibanos- SC	304	R\$ 40,00
Verga 4 cm × 9 cm	4,40	m	6,65	7,35	-	10,6%	0%	0	Curitibanos- SC	304	R\$ 13,86
Chapa OSB parede 11,1 mm x 119,7 cm × 271,7 cm	5	un	63,30	97,49	-	54%	0%	0	Ponta Grossa -PR	458	R\$ 337,18
Gesso acartonado 12,5 mm x 119,7 cm × 271,7 cm	5	un	75,68	105,69	5,56	47%	100%	111,25	Mogi das Cruzes - SP	799	R\$ 153,72
Massa para tratamento de junta³	16,80	kg	16,80	18,82	-	12%	0%	0	Mogi das Cruzes - SP	799	R\$ 19,33
Porta madeira interna 74 cm × 214 cm	3	un	77,40	81,27	-	5 %	0%	0	Palhoça - SC	51	R\$ 606,00
											Continua...

Continua...

SUBSISTEMA PAREDES – 116,48 m²											
Material	Quantidade		Massa (kg)	Não reutilizado (kg)	Reutiliza- do (kg)	Perda estimada	Potencial de reaproveita- mento (kg)		Procedência / km²		Custo ¹ Material
Continuação											
Pregos anelados (ø 2,7 mm × 30 mm)	726	un	0,95	0,29	0,66	0,1%	100%	0,95	Sapucaia do Sul - RS	532	R\$ 21,78
Parafuso drywall (ø 3,5 mm x 32 mm)	608	un	10,58	3,17	7,41	0,1%	100%	10,58	Joinville - SC	207	R\$ 76,00
Painel duplo fechado e janela (240 cm)	2	un	293,78	346,31	8,00	-	-	109,98	-	-	R\$ 2.200,58
Montante 4 cm × 9 cm	37,86	m	57,24	63,31	-	10,6%	0%	0	Curitibanos-SC	304	R\$ 119,26
Travessa 4 cm × 9 cm	9,58	m	14,48	16,01	-	10,6%	0%	0	Curitibanos-SC	304	R\$ 30,18
Verga 4 cm × 9 cm	2,28	m	3,44	3,80	-	10,6%	0%	0	Curitibanos-SC	304	R\$ 7,18
Contra-verga 4 cm × 9 cm	2,12	m	3,20	3,54	-	10,6%	0%	0	Curitibanos-SC	304	R\$ 6,68
Chapa OSB parede 11,1 mm x 119,7 cm × 271,7 cm	4	un	67,69	92,05	-	36%	0%	0	Ponta Grossa - PR	458	R\$ 269,74
Gesso acartonado 12,5 mm x 119,7 cm × 271,7 cm	4	un	82,28	100,83	5,31	29%	100%	106,14	Mogi das Cruzes - SP	799	R\$ 122,97
Massa para tratamento de junta³	13,44	kg	13,44	15,05	-	12%	0%	0	Mogi das Cruzes - SP	799	R\$ 15,45
Janela madeira 94 cm × 104 cm duas folhas abrir	2	un	31,04	32,59	-	5%	0%	0	Palhoça - SC	51	R\$ 1309,50
Vidro plano 8 mm	1,71	m²	17,13	17,98	-	5%	0%	0	São Paulo - SP	724	R\$ 205,20
Pregos anelados (ø 4,4 mm × 89,7 mm)	12	un	0,14	0,04	0,10	0,1%	100%	0,14	Sapucaia do Sul - RS	532	R\$ 0,90
Continua...											

Continua...

SUBSISTEMA PAREDES – 116,48 m²											
Material	Quantidade		Massa (kg)	Não reutilizado (kg)	Reutiliza- do (kg)	Perda estimada	Potencial de reaproveita- mento (kg)		Procedência / km²		Custo ¹ Material
Conclusão											
Ripas 4 cm × 5 cm	175	m	147,00	162,58	-	10,6%	0%	0	Curitibanos- SC	304	R\$ 306,25
“Sidings” 20 cm × 2,5 cm	216	m	454,00	502,12	-	10,6%	0%	0	Curitibanos- SC	304	R\$ 945,00
Pregos anelados (ø 2,7 mm × 30 mm)	978	un	1,40	0,5	0,98	0,1%	100%	1,40	Sapucaia do Sul - RS	532	R\$ 29,34
Tinta esmalte sintético	12,16	l	15,80	17,06	-	8%	0%	0	Taboão da Serra - SP	714	R\$ 135,10
											R\$ 13.051,14
											Custo M-O
											R\$ 5.022,00
TOTAL			3.884,05	4.242,95	72,95	-	-	960,87	-	-	R\$ 18.073,00

¹ Consulta dos preços dos materiais: Data base: Julho de 2012;

² Distâncias retiradas do site: <http://www.aondefica.com> ;

³ Não foi avaliado energeticamente por falta de dados na literatura e pesquisa.

SUBSISTEMA COBERTURA – 65,52m												
Material	Quantidade		Massa (kg)	Não reutilizado (kg)	Reutilizado (kg)	Perda estimada	Potencial de reaproveitamento (kg)			Procedência / km²		Custo ¹ Material
Treliças	9	un	273,33	298,74	3,10	-	-	4,44	-	-	R\$ 556,72	
Banzo inferior 4 cm x 9 cm	60,75	m	91,85	101,60	-	10,6%	0%	0	Curitibanos - SC	304	R\$ 191,36	
Banzo superior 4 cm x 9 cm	76,5	m	115,67	127,93	-	10,6%	0%	0	Curitibanos - SC	304	R\$ 240,97	
Pendural 4 cm x 9 cm	11,25	m	17,01	18,81	-	10,6%	0%	0	Curitibanos - SC	304	R\$ 35,44	
Escora 4 cm x 9cm	29,34	m	44,36	49,06	-	10,6%	0%	0	Curitibanos - SC	304	R\$ 62,42	
Conector metálico 3,6cm x 7,9cm	90	un	2,69	0,81	1,88	0%	100%	2,69	São Paulo - SP	724	R\$ 15,95	
Conector metálico 7, 1cm x 9,9cm	18	un	1,33	0,40	0,93	0%	100%	1,33	São Paulo - SP	724	R\$ 7,88	
Pregos anelados (ø 4,4 mm × 89,7 mm)	36	un	0,42	0,13	0,29	0,1%	100%	0,42	Sapucaia do Sul - RS	532	R\$ 2,70	
Cobertura e forro			2.756,17	2.882,06	41,17	-	-	448,28	-	-	R\$ 3.261,14	
Chapa OSB parede 11,1 mm	66,30	m²	471,39	518,53	-	10%	0%	0	Ponta Grossa - PR	458	R\$ 1.330,64	
Pregos anelados (ø 2,7 mm × 30 mm)	760	un	1,11	0,34	0,77	0,1%	100%	1,11	Sapucaia do Sul - RS	532	R\$ 22,70	
Membrana polietileno de alta densidade	73	m²	5,30	5,35	-	1%	0%	0	Capivari - SP	777	R\$ 359,74	
Continua...												

SUBSISTEMA COBERTURA – 65,52m											
Material	Quantidade		Massa (kg)	Não reutilizado (kg)	Reutilizado (kg)	Perda estimada	Potencial de reaproveitamento (kg)		Procedência / km²		Custo ¹ Material
Conclusão											
Ripas 3 cm x 4 cm	194,40	m	97,98	108,36	-	10,6%	0%	0	Curitibanos - SC	304	R\$ 198,29
Pregos anelados (ø 3,8 mm × 76,2 mm)	624	m	3,95	1,19	2,76	0,1%	100%	3,95	Sapucaia do Sul - RS	532	R\$ 39,31
Telha cerâmica romana	625	un	1.687,50	1.856,25	-	10%	0%	0	Morro da Fumaça -SC	209	R\$ 566,27
Cantoneira para beiral 0,065cm x 250cm	32	m	13,86	4,37	10,18	5%	100%	14,55	Mogi das Cruzes - SP	799	R\$ 57,60
Gesso acartonado 12,5 mm	45	m²	382,50	399,71	21.04	10 %	100%	420,75	Mogi das Cruzes - SP	799	R\$ 452,92
Massa para tratamento de junta³	45	kg	45,00	50,40	-	12%	0%	0	Mogi das Cruzes - SP	799	R\$ 51,75
Massa acrílica para acabamento³	39,66	kg	39,66	44,42	-	12%	0%	0	Tubarão - SC	168	R\$ 124,92
Parafuso drywall (ø 3,5mm x 32mm)	456	un	7,92	2,38	5,54	0,1%	100%	7,92	Joinville - SC	207	R\$ 57,00
											R\$ 3.817,86
											Custo M-O
											R\$ 2.551,00
TOTAL			3.029,50	3.290,04	43,39	-	-	452,72	-	-	R\$ 6.368,86

¹ Consulta dos preços dos materiais: Data base: Julho de 2012;

² Distâncias retiradas do site: <http://www.aondefica.com> ;

³ Não foi avaliado energeticamente por falta de dados na literatura e pesquisa.

SUBSISTEMA ELÉTRICO¹											
Material	Quantidade		Massa (kg)	Não reutilizado (kg)	Reutilizado (kg)	Perda estimada	Potencial de reaproveitamento		Procedência / km		Custo ² Material
Luminária fluorescente compacta de teto	6	un	-	-	-	-	-	-	-	-	R\$ 51,20
Luminária fluorescente compacta de parede	2	un	-	-	-	-	-	-	-	-	R\$ 136,00
Lâmpada fluorescente compacta	8	un	-	-	-	-	-	-	-	-	R\$ 51,04
Caixa de embutir - drywall	17	un	-	-	-	-	-	-	-	-	R\$ 59,50
Tomada c/ tampa	10	un	-	-	-	-	-	-	-	-	R\$ 64,50
Interruptor de c/ tampa	6	un	-	-	-	-	-	-	-	-	R\$ 26,40
Eletroduto flexível corrugado Ø 25mm	100	m	-	-	-	-	-	-	-	-	R\$ 116,00
Eletroduto flexível corrugado Ø 32 mm	3	m	-	-	-	-	-	-	-	-	R\$ 6,99
Fio de cobre condutor (fase) Ø 1,5 mm	80	m	-	-	-	-	-	-	-	-	R\$ 34,40
Fio de cobre condutor (neutro) Ø 1,5 mm	80	m	-	-	-	-	-	-	-	-	R\$ 34,40
Fio de cobre condutor (fase) Ø 2,5 mm	14	m	-	-	-	-	-	-	-	-	R\$ 9,66
Fio de cobre condutor (neutro) Ø 2,5 mm	14	m	-	-	-	-	-	-	-	-	R\$ 9,66
Fio de cobre condutor (fase) Ø 6,0 mm	6	m	-	-	-	-	-	-	-	-	R\$ 10,02
Continua...											

SUBSISTEMA ELÉTRICO ¹											
Material	Quantidade		Massa (kg)	Não reutilizado (kg)	Reutilizado (kg)	Perda estimada	Potencial de reaproveitamento	Procedência / km			Custo ² Material
Conclusão											
Fio de cobre condutor (neutro) Ø 6,0 mm	6	m	-	-	-	-	-	-	-	-	R\$ 10,02
Fio de cobre condutor (terra) Ø 6,0 mm	6	m	-	-	-	-	-	-	-	-	R\$ 10,02
Quadro de distribuição de disjuntores	1	un	-	-	-	-	-	-	-	-	R\$ 10,29
Disjuntores 6 A	6	un	-	-	-	-	-	-	-	-	R\$ 22,60
Disjuntores 2 x 6 A	1	un	-	-	-	-	-	-	-	-	R\$ 38,00
Disjuntores 2 x 32 A	1	un	-	-	-	-	-	-	-	-	R\$ 64,55
Fita isolante 15 mm x 20m	2	un	-	-	-	-	-	-	-	-	R\$ 8,60
											R\$ 773,85
											Custo M-O
											R\$ 627,75
TOTAL			-	-	-	-	-	-	-	-	R\$ 1.401,60

¹ Substema fundação não foi avaliado ambientalmente;

² Consulta dos preços dos materiais: Data base: Julho de 2012.

Tabela 6: Quantitativo do subsistema hidrossanitário.

SUBSISTEMA HIDROSSANITÁRIO ¹											
Material	Quantidade		Massa (kg)	Não reutilizado (kg)	Reutilizado (kg)	Perda estimada	Potencial de reaproveitamento		Procedência / km		Custo ² Material
Água Fria e equipamentos ³											R\$ 1.170,86
Tubo PVC ø 25 mm	12	m	-	-	-	-	-	-	-	-	R\$ 10,42
Tê soldável 90° ø 25mm	5	un	-	-	-	-	-	-	-	-	R\$ 1,30
Joelho soldável ø 25 mm	8	un	-	-	-	-	-	-	-	-	R\$ 0,96
Luva soldável com bucha ø 25 mm	5	un	-	-	-	-	-	-	-	-	R\$ 5,45
Luva soldável de redução ø 32 mm x ø 25 mm	1	un	-	-	-	-	-	-	-	-	R\$ 1,51
Registro gaveta	1	un	-	-	-	-	-	-	-	-	R\$ 5,93
Registro globo	1	un	-	-	-	-	-	-	-	-	R\$ 46,85
Tubo PVC ø 32 mm	6	m	-	-	-	-	-	-	-	-	R\$ 12,39
Joelho soldável ø 32 mm	1	un	-	-	-	-	-	-	-	-	R\$ 0,49
Luva soldável com bucha ø 32 mm	1	un	-	-	-	-	-	-	-	-	R 1,89
Bacia sanitária com caixa de descarga acoplada e assento	1	un	-	-	-	-	-	-	-	-	R\$ 534,00
Lavatório de louça com coluna	1	un	-	-	-	-	-	-	-	-	R\$ 108,95
Chuveiro elétrico	1	un	-	-	-	-	-	-	-	-	R\$ 80,00
Torneira	3	un	-	-	-	-	-	-	-	-	R\$ 4,77
Tanque de PVC	1	un	-	-	-	-	-	-	-	-	R\$ 190,00
Caixa da água polietileno 100 litros	1	un	-	-	-	-	-	-	-	-	R\$ 158,00
Continua...											

SUBSISTEMA HIDROSSANITÁRIO ¹											
Material	Quantidade		Massa (kg)	Não reutilizado (kg)	Reutilizado (kg)	Perda estimada	Potencial de reaproveitamento	Procedência / km		Custo ² Material	
Conclusão											
Adaptador auto-ajustável	3	un	-	-	-	-	-	-	-	-	R\$ 7,95
Esgoto ³											R\$ 2.184,56
Tubo PVC ø 40 mm	9	m	-	-	-	-	-	-	-	-	R\$ 12,70
Curva de 45° ø 40 mm	4	un	-	-	-	-	-	-	-	-	R\$ 2,76
Caixa sifonada quadrada	1	un	-	-	-	-	-	-	-	-	R\$ 8,55
Caixa de inspeção 60 x 60 cm	1	un	-	-	-	-	-	-	-	-	R\$ 55,97
Caixa de gordura 60 x 60 cm	1	un	-	-	-	-	-	-	-	-	R\$ 60,37
Tubo PVC ø 75 mm	3	m	-	-	-	-	-	-	-	-	R\$ 9,69
Curva de 45° ø 75 mm	3	un	-	-	-	-	-	-	-	-	R\$ 9,57
Tubo PVC ø 100 mm	9	m	-	-	-	-	-	-	-	-	R\$ 30,88
Curva de 45° ø 100 mm	3	un	-	-	-	-	-	-	-	-	R\$ 14,07
Fossa e filtro compactos 1100 litros	1	un	-	-	-	-	-	-	-	-	R\$ 1.980,00
											R\$ 3.355,42
											Custo M-O
											R\$ 627,75
TOTAL			-	-	-	-	-	-	-	-	R\$ 3.983,17

¹ Substistema fundação não foi avaliado ambientalmente;

² Consulta dos preços dos materiais: Data base: Julho de 2012;

³ Não foi quantificado a torre externa para a caixa da água e o sumidouro.

Apêndice 4 - Tabelas com as caracterizações dos subsistemas da HIS.

Tabela 1: Caracterização do subsistema piso.

Caracterização do subsistema piso														
Quantidade de materiais (kg)				Critério 1	Critério 2			Critério 3	Critério 4		Critério 5	Critério 6	Critério 7	Critério 8
Material	Calculada teórica	Não reutilizado	Reutilizado	Quantidade de CO ₂ armazenada (kg)	Distância (km)	Energia transporte (MJ)	Emissões de CO ₂ (g)	Resíduos Perigosos (kg)	Energia embutida (MJ/kg)	Consumo de energia manufatura (MJ)	Consumo de energia construção (MJ)	Consumo de recursos reaproveitados (kg)	Recursos com potencial de aproveitamento (kg)	Perda (kg)
Madeira estrutura	517,29	571,95	0,00	982,85	304	142,40	10.537,73	571,95	1,10	629,15	—	0,00	0,00	54,66
Madeira OSB	815,31	890,99	0,00	1.549,09	451	269,23	19.923,05	890,99	7,50	6.682,43	—	0,00	0,00	75,68
Aço carbono	43,07	14,06	32,85	0,00	532	20,44	1.512,49	46,94	30,00	1.407,30	—	32,85	43,07	3,87
Aço galvanizado	6,59	1,98	4,61	0,00	466	2,51	185,92	6,59	33,80	222,74	—	4,61	6,59	0,01
Argamassa de assentamento AC	228,00	255,36	0,00	0,00	168	35,14	2.600,03	0,00	2,10	536,26	—	0,00	0,00	27,36
Emulsão asfáltica	69,75	76,72	0,00	0,00	724	45,49	3.366,38	0,00	—	—	—	0,00	0,00	6,97
Placa cerâmica esmaltada	641,70	705,87	0,00	0,00	84	48,56	3.593,52	0,00	5,00	3.529,35	—	0,00	0,00	64,17
Rejunte para placa cerâmica	13,95	15,34	0,00	0,00	168	2,11	156,19	0,00	—	—	—	0,00	0,00	1,39
Total	2.335,66	2.532,27	37,46	2.531,94	2.897	565,88	41.875,31	1.516,47	—	13.007,22	1.810,01	37,46	49,66	234,11

Tabela 2: Caracterização do subsistema paredes.

Caracterização do subsistema paredes														
Quantidade de materiais (kg)				Critério 1	Critério 2			Critério 3	Critério 4		Critério 5	Critério 6	Critério 7	Critério 8
Material	Calculada teórica	Não reutilizado	Reutilizado	Quantidade de CO ₂ armazenada (kg)	Distância (km)	Energia transporte (MJ)	Emissões de CO ₂ (g)	Resíduos Perigosos (kg)	Energia embutida (MJ/kg)	Consumo de energia manufatura (MJ)	Consumo de energia construção (MJ)	Consumo de recursos reaproveitados (kg)	Recursos com potencial de aproveitamento (kg)	Perda (kg)
Madeira estrutura	1.410,85	1.560,27	0,00	2.680,61	304	388,47	28.746,76	1.560,27	1,10	1.716,30	—	0,00	0,00	149,42
Madeira abertura	285,84	216,12	0,00	543,09	51	9,03	668,01	0,00	0,50	108,06	—	0,00	0,00	69,72
Madeira OSB	698,37	809,78	0,00	1.326,90	458	248,49	18.388,19	809,78	7,50	6.073,35	—	0,00	0,00	111,41
Gesso acartonado	845,97	890,29	46,85	0,00	799	501,68	37.124,26	0,00	6,10	5.716,55	—	46,85	845,97	91,17
Massa para tratamento de junta	121,15	128,45	0,00	0,00	799	68,76	5.088,47	0,00	—	—	—	0,00	0,00	7,30
Aço carbono	36,47	11,02	25,45	0,00	532	15,89	1.175,88	36,47	30,00	1.094,10	—	25,45	36,47	0,00
Aço galvanizado	0,93	0,34	0,65	0,00	799	0,65	47,94	0,99	33,80	33,46	—	0,65	0,93	0,06
Vidro plano	44,23	46,46	0,00	0,00	724	27,55	2.038,61	0,00	18,50	859,51	—	0,00	44,23	2,23
Placa cerâmica esmaltada	312,18	343,40	0,00	0,00	84	23,62	1.748,22	0,00	5,00	1.717,00	—	0,00	0,00	31,22
Rejunte para placa cerâmica	9,00	9,72	0,00	0,00	168	1,34	98,97	0,00	—	—	—	0,00	0,00	0,72
Massa acrílica para acabamento	104,00	116,48	0,00	0,00	168	16,03	1.185,98	0,00	—	—	—	0,00	0,00	12,48
Argamassa de assentamento AC II	78,12	87,49	0,00	0,00	168	12,04	890,81	0,00	2,10	183,73	—	0,00	0,00	9,37
Membrana polietileno	6,04	6,10	0,00	0,00	777	3,88	287,25	0,00	95,00	579,50	—	0,00	6,10	0,06
Tinta esmalte sintético	15,80	17,06	0,00	0,00	714	9,98	738,23	17,06	98,10	1.673,59	—	0,00	0,00	1,26
Total	3.968,95	4.242,98	72,95	4.550,60	6.545	1.327,40	98.227,57	2.424,57	—	19.755,15	3.620,49	72,95	933,70	486,42

Tabela 3: Caracterização do subsistema cobertura.

Caracterização do subsistema cobertura														
Quantidade de materiais (kg)				Critério 1	Critério 2			Critério 3	Critério 4		Critério 5	Critério 6	Critério 7	Critério 8
Material	Calculada/teórica	Não reutilizado	Reutilizado	Quantidade de CO2 armazenada (kg)	Distância (km)	Energia transporte (MJ)	Emissões de CO2 (g)	Resíduos Perigosos (kg)	Energia embutida (MJ/kg)	Consumo de energia manufatura (MJ)	Consumo de energia construção (MJ)	Consumo de recursos reaproveitados (kg)	Recursos com potencial de aproveitamento (kg)	Perda (kg)
Madeira estrutura	366,87	405,76	0,00	405,75	304	101,02	7.475,81	405,76	1,10	446,34	—	0,00	0,00	38,89
Madeira OSB	471,39	518,53	0,00	895,64	458	159,12	11.774,59	518,53	7,50	3.888,98	—	0,00	0,00	47,14
Aço carbono	13,40	4,04	9,36	0,00	451	4,95	366,27	13,40	30,00	402,00	—	9,36	13,40	0,01
Aço galvanizado	17,88	5,58	12,99	0,00	749	11,39	842,96	18,57	33,80	627,67	—	12,99	17,88	0,69
Membrana polietileno	5,30	5,35	0,00	0,00	777	3,40	251,94	0,00	95,00	508,25	—	0,00	5,30	0,05
Telha cerâmica	1.687,50	1.856,25	0,00	0,00	209	317,74	23.512,48	0,00	5,40	10.023,75	—	0,00	0,00	166,75
Gesso acartonado	382,50	399,71	21,04	0,00	799	225,24	16.667,77	0,00	6,10	2.566,58	—	21,04	382,50	38,25
Massa para tratamento de junta	45,00	50,40	0,00	0,00	799	26,98	1.996,57	0,00	—	—	—	0,00	0,00	5,40
Massa acrílica para acabamento	39,66	44,42	0,00	0,00	168	6,11	452,28	0,00	—	—	—	0,00	0,00	4,76
Total	3.029,50	3.290,04	43,39	1.301,39	4.714	855,95	63.340,66	956,26	—	18.463,55	1.810,01	43,39	419,08	301,94

Apêndice 5 - Tabelas com as caracterizações do subsistema parede com diferentes tecnologias.

Tabela1: Caracterização do subsistema paredes de madeira para a comparação.

Caracterização do subsistema paredes - madeira														
Quantidade de materiais (kg)				Critério 1	Critério 2			Critério 3	Critério 4		Critério 5	Critério 6	Critério 7	Critério 8
Material	Calculad a teórica	Não reutilizado	Reutilizado	Quantidade de CO2 armazenada (kg)	Distância (km)	Energia transporte (MJ)	Emissões de CO2 (g)	Resíduos Perigosos (kg)	Energia embutida (MJ/kg)	Consumo de energia manufatura (MJ)	Consumo de energia construção (MJ)	Consumo de recursos reaproveitados (kg)	Recursos com potencial de aproveitamento (kg)	Perda (kg)
Madeira estrutura	1.410,85	1.560,27	0,00	2.680,61	304	388,47	28.746,76	1.560,27	1,10	1.716,30	—	0,00	0,00	149,42
Madeira OSB	698,37	809,78	0,00	1.326,90	458	248,49	18.388,19	809,78	7,50	6.073,35	—	0,00	0,00	111,41
Gesso acartonado	845,97	890,29	46,85	0,00	799	501,68	37.124,26	0,00	6,10	5.716,55	—	46,85	845,97	91,17
Massa para tratamento de junta	121,15	128,45	0,00	0,00	799	68,76	5.088,47	0,00	—	—	—	0,00	0,00	7,30
Aço carbono	36,47	11,02	25,45	0,00	532	15,89	1.175,88	36,47	30,00	1.094,10	—	25,45	36,47	0,00
Aço galvanizado	0,93	0,34	0,65	0,00	799	0,65	47,94	0,99	33,80	33,46	—	0,65	0,93	0,06
Placa cerâmica esmaltada	312,18	343,40	0,00	0,00	84	23,62	1.748,22	0,00	5,00	1.717,00	—	0,00	0,00	31,22
Rejunte para placa cerâmica	9,00	9,72	0,00	0,00	168	1,34	98,97	0,00	—	—	—	0,00	0,00	0,72
Massa acrílica para acabamento	104,00	116,48	0,00	0,00	168	16,03	1.185,98	0,00	—	—	—	0,00	0,00	12,48
Argamassa de assentamento AC II	78,12	87,49	0,00	0,00	168	12,04	890,81	0,00	2,10	183,73	—	0,00	0,00	9,37
Membrana polietileno	6,04	6,10	0,00	0,00	777	3,88	287,25	0,00	95,00	579,50	—	0,00	6,10	0,06
Tinta esmalte sintético	15,80	17,06	0,00	0,00	714	9,98	738,23	17,06	98,10	1.673,59	—	0,00	0,00	1,26
Total	3.638,88	3.980,40	72,95	4.007,51	5.770	1.290,82	95.520,96	2.424,57	—	18.787,58	3.620,49	72,95	889,47	414,47
Total 46,50 m²	78,26	85,60	1,57	86,18	124,09	27,76	2.054,21	52,14	—	404,03	77,86	1,57	19,13	8,91
Total 103,44 m²	35,18	38,48	0,71	38,74	55,78	12,48	923,44	23,44	—	181,63	35,00	0,71	8,60	4,01

Tabela 2: Caracterização do subsistema paredes de aço para a comparação.

Caracterização do subsistema paredes - aço														
Quantidade de materiais (kg)				Critério 1	Critério 2			Critério 3	Critério 4		Critério 5	Critério 6	Critério 7	Critério 8
Material	Calculada teórica	Não reutilizado	Reutilizado	Quantidade de CO ₂ armazenada (kg)	Distância (km)	Energia transporte (MJ)	Emissões de CO ₂ (g)	Resíduos Perigosos (kg)	Energia embutida (MJ/kg)	Consumo de energia manufatura (MJ)	Consumo de energia construção (MJ)	Consumo de recursos reaproveitados (kg)	Recursos com potencial de aproveitamento (kg)	Perda (kg)
Estrutura de Aço	672,00	221,76	517,44	0,00	777	384,82	28.476,68	739,20	33,80	24.984,96	—	517,44	739,20	67,20
Madeira OSB	698,37	809,78	0,00	1.326,90	458	248,49	18.388,19	809,78	7,50	6.073,35	—	0,00	0,00	111,41
Gesso acartonado	845,97	890,29	46,85	0,00	799	501,68	37.124,26	0,00	6,10	5.716,55	—	46,85	845,97	91,17
Massa para tratamento de junta	121,15	128,45	0,00	0,00	799	68,76	5.088,47	0,00	—	—	—	0,00	0,00	7,30
Sidings cimentícios	734,40	812,25	0,00	0,00	777	382,32	28.291,68	0,00	6,00	4.873,50	—	0,00	812,25	77,85
Aço galvanizado	3,19	0,96	2,23	0,00	788	1,68	124,32	3,19	33,80	107,82	—	2,23	3,19	0,03
Placa cerâmica esmaltada	312,18	343,40	0,00	0,00	84	23,62	1.748,22	0,00	5,00	1.717,00	—	0,00	0,00	31,22
Rejunte para placa cerâmica	9,00	9,72	0,00	0,00	168	1,34	98,97	0,00	—	—	—	0,00	0,00	0,72
Massa acrílica para acabamento	104,00	116,48	0,00	0,00	168	16,03	1.185,98	0,00	—	—	—	0,00	0,00	12,48
Argamassa de assentamento AC II	78,12	87,49	0,00	0,00	168	12,04	890,81	0,00	2,10	183,73	—	0,00	0,00	9,37
Membrana polietileno	6,04	6,10	0,00	0,00	777	3,88	287,25	0,00	95,00	579,50	—	0,00	6,10	0,06
Tinta acrílica	15,80	17,06	0,00	0,00	714	9,98	738,23	17,06	61,00	1.040,66	—	0,00	0,00	1,26
Total	3.600,22	3.443,74	566,52	1.326,90	6.477	1.654,64	122.443,06	1.569,23	—	45.277,07	3.620,49	566,52	2.406,71	410,07
Total 46,50 m ²	77,42	74,06	12,18	28,54	139,29	35,58	2.633,18	33,75	—	973,70	77,86	12,18	51,76	8,82
Total 103,44 m ²	34,80	33,29	5,48	12,83	62,62	16,00	1.183,71	15,17	—	437,71	35,00	5,48	23,27	3,96

Tabela 3: Caracterização do subsistema paredes de alvenaria para a comparação.

Caracterização do subsistema paredes ¹ - alvenaria														
Quantidade de materiais (kg)				Critério 1	Critério 2			Critério 3	Critério 4		Critério 5	Critério 6	Critério 7	Critério 8
Material	Calculada teórica	Não reutilizado	Reutilizado	Quantidade de CO ₂ armazenada (kg)	Distância (km)	Energia transporte (MJ)	Emissões de CO ₂ (g)	Resíduos Perigosos (kg) ³	Energia embutida (MJ/kg)	Consumo de energia manufatura (MJ) ²	Consumo de energia construção (MJ)	Consumo de recursos reaproveitados (kg) ³	Recursos com potencial de aproveitamento (kg)	Perda (kg)
Cimento Portland CP IV-32	928,23	1.087,41	0,00	0,00	32	26,72	1.977,12	0,00	1,88	2.043,82	—	543,70	0,00	156,18
Areia média (graduação 3)	8.623,42	9.843,85	0,00	0,00	—	—	—	0,00	0,01	689,07	—	0,00	0,00	1.220,42
Aditivos e produtos químicos	15,04	36,48	0,00	0,00	1.032	29,37	2.172,77	0,00	—	—	—	0,00	0,00	21,17
Tijolo maciço	18.703,40	20.573,74	0,00	0,00	57	914,71	67.688,42	0,00	2,21	45.467,96	—	0,00	—	1.872,34
Aço (CA-60)	12,33	12,66	5,41	0,00	24	0,24	17,54	12,33	25,58	323,94	—	5,41	—	5,74
Argamassa adesiva	46,88	43,33	0,00	0,00	1.036	35,01	2.590,55	0,00	2,10	90,99	—	0,00	0,00	—
Placa cerâmica esmaltada	210,94	232,03	0,00	0,00	24	4,40	325,45	0,00	7,45	1.728,63	—	0,00	—	21,09
Total	28.540,24	31.829,50	5,41	0,00	2.205	1.010,45	74.771,85	12,33	—	50.344,41	0,00	549,11	0,00	3.296,94
Total 50,51 m ²	565,04	630,16	0,11	0,00	43,64	20,00	1.480,34	0,24	—	996,72	0,00	10,87	0,00	65,27
Total 138,90 m ²	205,47	229,15	0,04	0,00	15,87	7,27	538,31	0,09	—	362,45	0,00	3,95	0,00	23,74

¹ Dados obtidos na dissertação de Kuhn (2006)² Dados adaptados para este trabalho³ Para o cimento foi considerado 50% da adição de cinza volante, dado obtido na dissertação de Carvalho (2002)